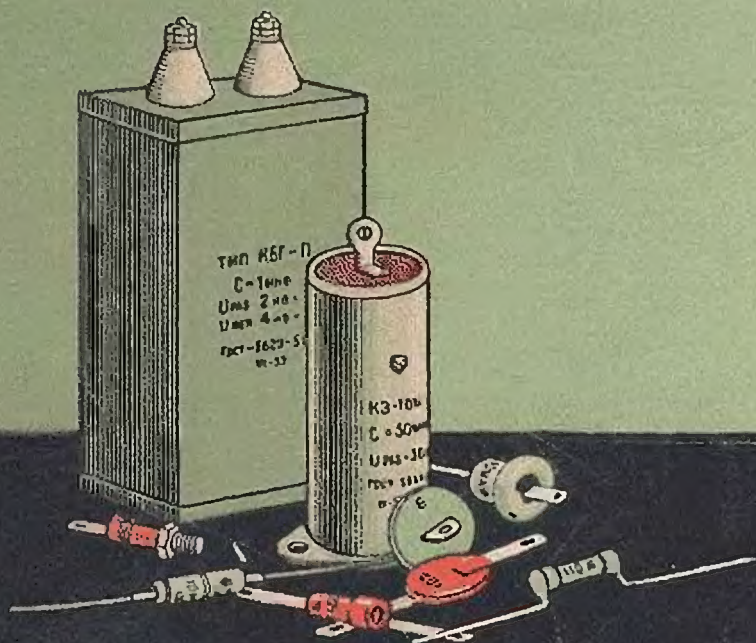


КОНДЕНСАТОРЫ И СОПРОТИВЛЕНИЯ



Р. М. МАЛИНИН

КОНДЕНСАТОРЫ
И
СОПРОТИВЛЕНИЯ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
МОСКВА — 1959

Р. М. М а л и н и н

КОНДЕНСАТОРЫ И СОПРОТИВЛЕНИЯ

В брошюре излагаются процессы, происходящие в конденсаторах и сопротивлениях, и описываются наиболее распространенные, а также новые освоенные отечественной радиопромышленностью конденсаторы и сопротивления.

В брошюре приведены таблицы основных электрических характеристик конденсаторов и сопротивлений широкого применения, сообщаются также сведения об особенностях их поведения при работе в радиотехнической аппаратуре и дается ряд практических рекомендаций по их эксплуатации.

Данная брошюра рассчитана на солдат, сержантов и офицеров, связанных с эксплуатацией радиотехнических средств, а также на широкий круг радиолюбителей.

ВВЕДЕНИЕ

Современное радиотехническое устройство содержит сотни и даже тысячи радиодеталей различных типов.

Подавляющее большинство из них составляют конденсаторы постоянной емкости и сопротивления широкого применения. Они называются так потому, что используются в самых различных радиотехнических устройствах — наземных, самолетных и корабельных радиолокационных станциях, в аппаратуре связи, в устройствах телеуправления, в электронных счетных машинах, в усилителях звукового кино и в другой радиотехнической и электронной аппаратуре самого разнообразного гражданского и военного назначения. От исправной работы каждой из радиодеталей зависит надежность действия всей аппаратуры в целом.

Поскольку радиотехническая и электронная аппаратура эксплуатируется зачастую в самых различных климатических и метеорологических условиях, к входящим в нее радиодеталям обычно предъявляется требование, чтобы они надежно работали в тех же или в еще более жестких условиях. Другими словами, радиодетали должны быть влагоустойчивыми, теплоустойчивыми и холодоустойчивыми.

Влагоустойчивость. Не вся радиотехническая и электронная аппаратура герметична. Поэтому во время пребывания ее в атмосфере с высокой влажностью такая, а иногда и еще более высокая влажность может быть и внутри этой аппаратуры. Общеизвестно, например, явление «отпотевания» аппаратуры, внесенной в зимний морозный день с улицы в теплое помещение. Учитывая это, большинство конденсаторов и сопротивлений широкого применения рассчитывается на эксплуатацию в атмосфере с относительной влажностью до 95—100%.

Конденсаторы и сопротивления отдельных типов, которые в силу своих конструктивных свойств корродируют и

недопустимо снижают свои электрические параметры в атмосфере с высоким содержанием влаги, могут без ограничения применяться в аппаратуре, работающей только в нормальных климатических условиях *. При использовании же таких радиодеталей в аппаратуре, предназначенной для работы в любых климатических и метеорологических условиях, они должны заключаться в герметизированные блоки или отсеки.

Холодоустойчивость. Температура ниже -60°C маловероятна даже в северных полярных областях (только в Антарктиде наблюдается более низкая температура). Поэтому большинство конденсаторов и сопротивлений широкого применения имеет гарантированную работоспособность при понижении температуры до -60°C . Это требование нельзя предъявлять к электролитическим конденсаторам некоторых типов, которые в силу своих физических свойств не способны нормально работать при таких низких температурах (см. стр. 96). Более слабые требования по холодоустойчивости предъявляются и к некоторым другим радиодеталям, если они предназначаются для применения в аппаратуре, работающей только в нормальных условиях (например, для стационарной точной измерительной аппаратуры).

Теплоустойчивость. Вследствие нагревания радиотехнической и электронной аппаратуры от выделения тепла работающими в ней электронными лампами, трансформаторами, дросселями и другими элементами схемы температура внутри аппаратуры, как правило, выше температуры окружающей ее атмосферы. При воздействии на аппаратуру прямых солнечных лучей температура в ней также повышается выше окружающей. Так, например, в пустынных и степных районах в летние солнечные дни аппаратура может нагреваться за счет поглощения солнечного тепла до 80°C , хотя температура воздуха не превышает $50-55^{\circ}\text{C}$. Это явление называется *солнечной инсоляцией*.

С учетом этих обстоятельств большинство конденсаторов и сопротивлений широкого применения конструировалось в расчете на работоспособность при температуре до $70-100^{\circ}\text{C}$. Необходимость усложнения аппаратуры и одновре-

* Нормальными климатическими условиями называют такие, при которых температура воздуха $15-25^{\circ}\text{C}$, относительная его влажность не превышает $70-80\%$, а атмосферное давление равно $730-780$ мм рт. ст. Эти условия иногда называют также комнатными.

менно сокращения ее габаритов, естественно, приводит к увеличению температуры внутри нее вследствие ухудшения условий рассеяния тепла. А это в свою очередь повышает требования к теплоустойчивости применяемых в ней радиодеталей. В связи с этим за последние годы были разработаны радиодетали, работающие при 150—250°С и даже при более высокой температуре.

Высотность. Так как конденсаторы и сопротивления широкого применения используются в самолетной радиотехнической аппаратуре, которая не всегда герметична, к ним предъявляется требование о надежной работе в разреженной атмосфере. Особенность работы радиодеталей в этих условиях заключается в том, что при понижении атмосферного давления облегчается возможность возникновения электрического перекрытия между частями радиодеталей, находящимися под напряжением. Это перекрытие может иметь характер искрового или тихого разряда по поверхности радиодеталей (иногда и сквозь толщу твердого диэлектрика), либо характер электрической дуги между токоне-сущими частями. На радиодеталях, работающих в разреженной атмосфере под высокими напряжениями, может возникать истечение электрических зарядов — явление коронирования. Кроме того, в разреженной атмосфере ухудшаются условия охлаждения радиодеталей.

Для большинства типов конденсаторов и сопротивлений широкого применения установлены предельные атмосферные давления 40 или 5 *мм рт. ст.* Для радиодеталей некоторых типов установлены предельные атмосферные давления 450, 400, 90 и 19 *мм рт. ст.* Свойство радиодеталей работать при пониженных атмосферных давлениях называют их *высотностью*. Отметим, что радиодетали обычно могут практически работать и в более глубоких разрежениях, чем установленные для них, но при условии снижения рабочих напряжений и мощностей.

Механическая прочность. Конденсаторы и сопротивления испытывают при эксплуатации в аппаратуре механические воздействия различного характера: вибрации, тряску, постоянные ускорения. Так, например, при транспортировке аппаратуры на автомобилях она подвергается вибрациям с частотами от нескольких герц и примерно до 80 *гц*. Эти вибрации создаются за счет работы двигателя автомобиля, вибрации рамы, кузова и других его частей. Наиболее сильные вибрации испытывает аппаратура, работающая на танках, торпедных катерах и самолетах. Кроме

того, самолетная аппаратура подвергается воздействию значительных постоянных ускорений.

В государственных общесоюзных стандартах и в технических условиях на различные конденсаторы и сопротивления указано, что они работоспособны при вибрациях с частотами до 75, 200 или 600 гц при знакопеременных ускорениях до 4—10 g, в условиях воздействия постоянного ускорения до 10—35 g, а также в условиях ударной тряски с ускорением до 20 g и более *. Практически большинство этих радиодеталей надежно работает в аппаратуре и при больших частотах вибрации и ускорениях, особенно если аппаратура хорошо амортизирована.

Способность радиодеталей сохранять свои параметры в условиях вибрации в определенном диапазоне частот и при определенных знакопеременных ускорениях характеризует их виброустойчивость, а способность противостоять разрушающему влиянию вибраций и после длительного их воздействия сохранять свою работоспособность характеризует вибропрочность радиодеталей.

Способность радиодеталей не разрушаться и сохранять свои характеристики в условиях постоянного ускорения называется устойчивостью к воздействию постоянных ускорений, а способность не разрушаться при воздействии ударов на аппаратуру — соответственно ударной прочностью радиодеталей.

* Буквой g обозначается ускорение силы тяжести ($9,8 \text{ м/сек}^2$). Зависимость величины знакопеременного ускорения от частоты вибрации f и амплитуды A определяется формулой $\frac{f^2 A}{250}$.

КОНДЕНСАТОРЫ ПОСТОЯННОЙ ЕМКОСТИ

1. Основные параметры конденсаторов

Наибольшее распространение в радиотехнической и электронной аппаратуре получили конденсаторы постоянной емкости с диэлектриком из бумаги, пропитанной вазелином, церезином, минеральным маслом или иным подобным минеральным или синтетическим изоляционным веществом; из слюды; из органической пленки; из керамики и ее разновидностей — сегнетокерамики; в виде оксидного слоя, получаемого электролитическим методом на поверхности металла. Начинают внедряться в радиотехническую и электронную аппаратуру также новые типы конденсаторов постоянной емкости с диэлектриком из легкоплавких стеклянных эмалей и из стеклокерамики. Имеет перспективу применения в качестве конденсаторного диэлектрика гибкая стеклянная лента; конденсаторы с таким диэлектриком работоспособны при температурах до $+200^{\circ}\text{C}$.

Соответственно применяемому диэлектрику конденсаторы называются бумажными, слюдяными, пленочными, керамическими, сегнетокерамическими (или сокращенно сегнетоконденсаторами), электролитическими, стеклоэмалевыми, стеклокерамическими. Бумажные и пленочные конденсаторы, в которых металлические обкладки нанесены непосредственно на поверхность диэлектрика, называются **металлобумажными** и **металлопленочными**.

Классифицируются все эти конденсаторы по следующим основным характеристикам:

- по типу (конструктивному оформлению);
- по номинальному рабочему напряжению;
- по номинальной емкости;
- по классу точности.

Слюдяные, керамические и некоторые другие конденсаторы различных типов, кроме того, классифицируются по номинальной реактивной мощности и температурному коэффициенту емкости (ТКЕ). Для бумажных, металlobумажных, электролитических и большинства типов пленочных и металлопленочных конденсаторов реактивная мощность и ТКЕ обычно не устанавливаются, а вместо ТКЕ регламентируется наибольшее изменение емкости конденсаторов при крайних (положительной и отрицательной) рабочих температурах по сравнению с емкостью, измеренной в нормальных условиях. При этом электролитические конденсаторы одного и того же типа классифицируются по группам холодоустойчивости (морозоустойчивости), каждой из которых соответствует определенная предельная отрицательная рабочая температура.

Качество конденсаторов характеризуется пробивным и испытательным напряжениями, сопротивлением изоляции и тангенсом угла потерь при переменном токе в нормальных условиях, при максимальной рабочей температуре и в атмосфере с высокой влажностью, а также рядом других параметров, о которых мы скажем ниже.

Номинальное рабочее, испытательное и пробивное напряжения. Номинальным рабочим напряжением конденсатора называется наибольшее напряжение между его обкладками, при котором он способен надежно и длительно работать (например, не менее 5000—10 000 час), сохраняя свои параметры (емкость, высокое сопротивление изоляции и т. п.) при всех установленных для него рабочих температурах, вплоть до максимальной, и в разреженной атмосфере. Для большинства типов конденсаторов регламентируется номинальное рабочее напряжение постоянного тока. Допустимое напряжение переменного тока на конденсаторе, как правило, меньше номинального рабочего напряжения постоянного тока; оно обычно понижается с повышением частоты. При работе конденсатора в цепи пульсирующего тока сумма напряжения постоянного тока и амплитудного значения напряжения переменного тока не должна превышать номинального рабочего напряжения. Если конденсатор работает под напряжением выше номинального или при чрезмерно больших амплитудах переменного напряжения, надежность его работы и срок службы сокращаются.

Так, например, при превышении номинального постоянного напряжения на 20—25% многие низковольтные бумаж-

ные конденсаторы КБГ-МП и КБГ-МН емкостью свыше 1 мкф выходят из строя после 500 час работы, в то время как при номинальном напряжении срок службы таких конденсаторов, как правило, значительно больше гарантируемого заводами-изготовителями, т. е. больше 5000 час. При таком же превышении напряжения электролитические конденсаторы в большинстве случаев выходят из строя после нескольких часов работы, особенно в условиях повышенной температуры.

Заметим, что разделение конденсаторов на низковольтные и высоковольтные весьма условно и зависит от типов конденсаторов. Так, например, керамические конденсаторы с номинальными рабочими напряжениями постоянного тока от 1000 в и выше относят к высоковольтным. В то же время низковольтными считают бумажные и металлобумажные конденсаторы с номинальными рабочими напряжениями постоянного тока до 1500 в включительно.

Пробивное напряжение конденсатора, т. е. такое напряжение, при котором происходит разрушение его диэлектрика от действия электрического поля между обкладками или возникает электрическая искра (дуга) между ними через закраины диэлектрика, всегда должно быть значительно выше номинального рабочего напряжения. Пробивное напряжение не является какой-то определенной величиной для конденсаторов данного типа. Вследствие неизбежной неоднородности диэлектрического материала и некоторых отклонений в технологическом процессе изготовления конденсаторов пробивное напряжение различных образцов конденсаторов одного и того же типа и рабочее напряжение могут значительно отличаться друг от друга. Очевидно, чем больше пробивное напряжение конденсатора, тем выше его надежность.

Чтобы убедиться в том, что конденсаторы будут надежно работать не только под номинальным рабочим напряжением, но и при возможных в эксплуатации кратковременных превышениях этого напряжения, перед выпуском конденсаторов с завода-изготовителя между их обкладками на короткое время (обычно на несколько секунд) подается так называемое испытательное напряжение. Для большинства типов конденсаторов оно превышает номинальное рабочее напряжение в 1,5—3 раза. Только на некоторые типы металлобумажных и электролитических конденсаторов нельзя подавать напряжение, превышающее номинальное рабочее. Величина испытательного напряжения указывается

в ГОСТ или технических условиях на различные типы конденсаторов. Перед монтажом конденсаторов в аппаратуру их иногда подвергают действию испытательного напряжения повторно. Конденсаторы, у которых по каким-либо технологическим причинам пробивное напряжение оказалось ниже испытательного, выходят из строя. Таким образом осуществляется отбраковка конденсаторов с пониженной надежностью.

Для определения надежности работы конденсаторов при пониженном атмосферном давлении их помещают в барокамеру, создают в ней соответствующее разрежение (например, 40 или 5 мм рт. ст.) и испытывают напряжением, составляющим 110—120% от номинального рабочего.

Необходимо иметь в виду, что многократные испытания конденсаторов напряжением выше номинального рабочего иногда приводят к ухудшению электрической прочности их диэлектрика (особенно слюдяных и бумажных). Поэтому повторных проверок конденсаторов испытательным напряжением следует по возможности избегать. По той же причине не следует подавать на конденсаторы испытательное напряжение на более длительное время, чем это указано в ГОСТ и технических условиях.

Конденсаторы, имеющие металлический корпус с изоляцией всех обкладок, кроме того, испытывают на электрическую прочность приложением между выводами обкладок и корпусом напряжения постоянного или переменного тока выше номинального рабочего. При этом испытании все выводы обычно соединяют между собой накоротко.

Номинальная емкость и класс точности. Класс точности определяет наибольшее возможное отклонение действительной емкости конденсатора от маркированной на нем номинальной емкости. Величину этого отклонения называют также допуском.

Конденсаторы постоянной емкости широкого применения выпускаются по классам точности, указанным в таблице 1 (см. в конце книги).

Наиболее распространенные номинальные величины (номиналы) емкостей конденсаторов из числа стандартизованных приведены для различных классов точности в табл. 2 и 3.

Применимость конденсаторов, выпущенных с допусками по различным классам точности, определяется местом использования их в схемах. Так, например, в качестве блокировочных, разделительных, переходных и фильтровых кон-

денсаторов широко применяют конденсаторы с допуском по классу точности III, так как даже значительные отклонения емкостей этих конденсаторов от номинальных мало сказываются на режиме работы схемы. В радиотехнической аппаратуре наиболее распространены конденсаторы с допуском по классу точности II. Конденсаторы с допусками по более высоким классам точности применяют в колебательных контурах и других цепях, от которых зависят временные параметры схемы, а также в измерительной аппаратуре. При этом конденсаторы высших классов точности (0; 00 и др.) используются очень редко.

Необходимо иметь в виду, что емкость конденсатора в пределах допуска, регламентируемого тем или иным классом точности, сохраняется только при нормальной температуре ($20 \pm 5^\circ \text{C}$). При более высоких и при более низких температурах емкость конденсатора может отличаться от номинальной на большую величину.

В процессе хранения и эксплуатации наблюдается некоторое изменение емкости конденсатора, при этом после длительного хранения или продолжительной работы в отдельных случаях емкость может выходить за пределы обозначенных на конденсаторе допусков.

Температурный коэффициент емкости. При изменениях температуры изменяются размеры обкладок конденсатора, зазоры, диэлектрическая проницаемость диэлектрика. Все это вызывает изменение емкости конденсатора. Изменение емкости называется **циклическим**, если емкость изменяется в зависимости от температуры по закону, близкому к прямолинейному, и если после установления первоначальной температуры емкость возвращается к своему исходному значению; если емкость после установления первоначальной температуры не возвращается к исходному значению, то такое изменение емкости называется **необратимым**. Наилучшей циклическостью обладают керамические конденсаторы.

Величина, характеризующая циклическое изменение емкости конденсатора при изменении температуры на 1°C , называется **температурным коэффициентом емкости (ТКЕ)**.

Для керамических, слюдяных, стеклоэмалевых, стеклокерамических и некоторых типов пленочных конденсаторов обычно указывается средняя величина ТКЕ в заданном интервале температур, которая определяется по формуле

$$\alpha_c = \frac{C_0 - C_1}{C_0 (t_0 - t_1)},$$

где C_0 — емкость конденсатора при температуре $t_0 = 20^\circ\text{C}$; C_1 — то же, при другой заданной температуре t_1 .

Если обозначить $C_0 - C_1 = \Delta C$ и $t_0 - t_1 = \Delta t$, получим выражение для температурного коэффициента емкости в более распространенной форме:

$$\alpha_c = \frac{\Delta C}{C_0 \Delta t}.$$

Температурный коэффициент емкости принято выражать в миллионных долях от емкости конденсатора при нормальной температуре на один градус Цельсия (10^{-6} на 1°C). ТКЕ определяют обычно в интервале температур от 20°C до максимальной рабочей для конденсаторов данного типа. Измерение производят на частотах 0,5—5 МГц. У конденсаторов, имеющих величину емкости настолько малую, что точность измерения емкости получается того же порядка, что и определяемые ее изменения, практически ТКЕ измерить не удастся. Поэтому такие конденсаторы следует рассматривать как конденсаторы с неопределенным ТКЕ.

Слюдяные, керамические, стеклоэмалевые и стеклокерамические конденсаторы разделяются по величине ТКЕ на ряд групп, каждой из которых присвоен свой буквенный индекс (см. стр. 53, 137 и 143).

Температурный коэффициент емкости бумажных, металобумажных, электролитических, сегнетокерамических и некоторых типов пленочных конденсаторов различен для разных интервалов рабочих температур, и емкость их изменяется нелинейно и нециклично. Поэтому ТКЕ для конденсаторов этих типов, как мы уже отмечали, обычно не указывается; они характеризуются максимальным возможным изменением емкости в процентах для крайних значений рабочих температур по сравнению с емкостью, измеренной при 20°C .

Сопротивление изоляции. Сопротивление изоляции конденсатора, измеряемое между выводами его обкладок, характеризует качество примененного в нем диэлектрика, величину утечки тока через него и, следовательно, надежность работы конденсатора в схеме. При недостаточном сопротивлении изоляции ток утечки может быть настолько велик, что может нарушить правильность работы схемы. Измерение этого параметра производится при напряжении постоянного тока (обычно 100 в).

Исправные конденсаторы с диэлектриком из керамики,

слюды и пленки имеют сопротивление изоляции между обкладками порядка десятков и сотен тысяч мегом, а с диэлектриком из бумаги — порядка сотен и тысяч мегом.

Для конденсаторов емкостью более 0,1—0,25 мкф в ГОСТ, технических условиях и другой технической документации принято указывать так называемое приведенное сопротивление изоляции, выражаемое в мегомах на микрофараду ($Mom \cdot \mu k\phi$). Эту величину называют также постоянной времени конденсатора. Последнее понятие имеет следующий физический смысл. Если конденсатор зарядить до напряжения U_0 , то немедленно после отключения от источника напряжения конденсатор начинает саморазряжаться на сопротивление изоляции между его обкладками. Разряд будет продолжаться тем дольше, чем больше емкость конденсатора C и чем больше его сопротивление изоляции $R_{из}$. Напряжение на конденсаторе с течением времени t снижается примерно по экспоненциальному закону

$$u = U_0 e^{\frac{-t}{CR_{из}}},$$

где t в сек, R в Mom , C в $\mu k\phi$ и $e = 2,71828...$ (основание натуральных логарифмов).

Отсюда постоянная времени $CR_{из}$ представляет собой время, за которое напряжение на конденсаторе при саморазряде снижается до

$$u = \frac{1}{e} U_0 = 0,37 U_0.$$

Чтобы по постоянной времени определить сопротивление изоляции данного конденсатора в мегомах, нужно постоянную времени разделить на его емкость в микрофарадах.

При повышении температуры, а также в атмосфере с высокой влажностью сопротивление изоляции (постоянная времени) снижается.

Для электролитических конденсаторов, как исключение, вместо сопротивления изоляции регламентируется величина тока утечки при номинальном рабочем напряжении. Ток утечки обычно тем больше, чем больше емкость конденсатора и приложенное к нему напряжение. При повышении температуры и влажности окружающей среды ток утечки электролитических конденсаторов возрастает.

Фактическое сопротивление изоляции конденсаторов одного типа и одной номинальной емкости может отличаться от указанного в ГОСТ или в технических условиях в сторону

увеличения зачастую на один—два порядка. При этом сопротивление изоляции различных типов конденсаторов может быть весьма различным. У электролитических конденсаторов соответственно может быть разный ток утечки. Это необходимо учитывать при последовательном включении двух и большего числа конденсаторов, если прикладываемое к образуемой ими цепочке напряжение превышает номинальное рабочее напряжение каждого из них.

С первого взгляда может показаться, что если емкости всех последовательно соединенных конденсаторов равны, то приложенное к ним напряжение распределится между конденсаторами равномерно, и если сумма рабочих напряжений используемых конденсаторов не превышает напряжения, приложенного к цепи, то нормальный режим работы конденсаторов обеспечивается. Однако это не так. В действительности постоянное напряжение распределяется между последовательно соединенными конденсаторами пропорционально сопротивлению изоляции каждого из них. Поэтому на конденсаторе, имеющем наиболее высокое сопротивление изоляции, может появиться напряжение, превышающее его номинальное рабочее напряжение, и этот конденсатор будет пробит. Вслед за ним обычно пробиваются и остальные последовательно соединенные конденсаторы, так как все напряжение теперь распределяется между меньшим числом оставшихся в цепи конденсаторов.

Поэтому последовательное включение конденсаторов в цепь постоянного тока с напряжением, превышающим номинальное рабочее напряжение каждого из конденсаторов, не рекомендуется. Если такое включение необходимо, следует составить цепочку из конденсаторов, имеющих по возможности одинаковое сопротивление изоляции. При последовательном соединении электролитических конденсаторов, их следует подбирать по одинаковому току утечки. При этом нужно иметь в виду, что даже при очень тщательном подборе конденсаторов по сопротивлению изоляции и по току утечки с течением времени эти величины могут у разных конденсаторов изменяться (например, вследствие изменения свойств диэлектрика от действия влаги, при изменении температуры и т. д.). Особенно большое изменение сопротивления изоляции бывает у металлобумажных конденсаторов. Сильно изменяется во времени и ток утечки электролитических конденсаторов. Изменение сопротивления изоляции (тока утечки) нарушает равномерность распределения напряжения на конденсаторах.

Поэтому число конденсаторов в цепочке должно быть таким, чтобы на каждый из последовательно соединенных конденсаторов приходилось напряжение меньше его номинального рабочего. С целью выравнивания напряжения на последовательно соединенных конденсаторах рекомендуется каждый из них шунтировать сопротивлением, если это допускают условия работы конденсатора в электрической схеме. Сопротивления должны иметь одинаковые величины, а абсолютная величина каждого из них должна быть примерно в 10 раз меньше минимально возможного сопротивления изоляции каждого из конденсаторов. При шунтировании электролитических конденсаторов ток через сопротивления должен в то же число раз превышать их максимально ожидаемый ток утечки.

У конденсатора с металлическим корпусом, если ни одна из его обкладок не соединена с корпусом, кроме сопротивления изоляции между обкладками, измеряется сопротивление изоляции между выводами обкладок и корпусом. Сопротивление изоляции между всеми соединенными выводами и корпусом считается практически достаточным, если его величина в нормальных условиях не менее 5000 *Мом*. Во влажной атмосфере сопротивление изоляции между выводами и корпусом может быть меньше.

Отметим, что в процессе хранения или эксплуатации сопротивление изоляции некоторых конденсаторов уменьшается.

Потери. В идеальном конденсаторе, включенном в цепь переменного тока, угол сдвига фаз φ между приложенным к нему напряжением и проходящим через него током равен 90° , и поэтому энергия в нем не теряется. В реальном конденсаторе происходит рассеивание энергии вследствие потерь в диэлектрике (см. стр. 26), а также на активном сопротивлении обкладок. Поэтому угол сдвига фаз φ между напряжением и током уменьшается. Потери в конденсаторе принято характеризовать тангенсом угла δ , являющимся дополнением до 90° к углу сдвига фаз φ между напряжением и током (т. е. $\varphi + \delta = 90^\circ$),

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{2\pi f C r},$$

где f — частота переменного тока,

C — емкость конденсатора,

r — эквивалентное параллельное сопротивление потерь конденсатора.

Если в формулу подставлять f в герцах, то C нужно выражать в фарадах; если же f выражается в мегагерцах, то C должна выражаться в микрофарадах. В обоих случаях r выражается в омах.

В нормальных условиях тангенс угла потерь керамических и слюдяных конденсаторов порядка 0,0002—0,002 ($\delta = 1' - 7'$), сегнетокерамических — до 0,04 ($\delta \approx 2^\circ$), бумажных и металлобумажных — 0,005—0,015 ($\delta = 17' - 51'$), пленочных в зависимости от материала диэлектрика — 0,0002—0,02 ($\delta = 1' - 1^\circ$), электролитических — 0,1—0,25 ($\delta = 6^\circ - 14^\circ$), с диэлектриком из стеклянной ленты около 0,00045.

При повышении температуры $\operatorname{tg} \delta$ конденсаторов увеличивается. У негерметических конденсаторов наблюдается также увеличение $\operatorname{tg} \delta$ при повышенной влажности.

Тангенс угла потерь слюдяных конденсаторов емкостью до 1000 $n\phi$, керамических и пленочных конденсаторов, применяемых в высокочастотных цепях радиотехнической аппаратуры, принято измерять на частоте порядка 1 $M\mu$, а тангенс угла потерь слюдяных конденсаторов большей емкости — на частотах 100—500 $k\mu$. Тангенс угла потерь конденсаторов остальных типов измеряют на низких частотах (порядка 50—1000 μ).

Предельная реактивная мощность. Реактивная мощность P_r на конденсаторе является фиктивной величиной, но удобной при расчетах. Она обычно представляет интерес только для конденсаторов, предназначенных для применения в цепях высокой частоты — керамических и слюдяных. Для идеального конденсатора реактивная мощность (в вольтамперах)

$$P_r = \frac{UI}{2},$$

где U — напряжение на конденсаторе в вольтах,
 I — ток через конденсатор в амперах.

Для реального конденсатора, когда между напряжением U и током I угол сдвига фаз $\varphi < 90^\circ$, $P_r = \frac{UI}{2} \cos \varphi$.

Однако поскольку у керамических и слюдяных конденсаторов потери невелики, т. е. $\varphi \approx 90^\circ$, их реактивную мощность с достаточной для практических целей точностью можно подсчитывать без учета $\cos \varphi$.

Для каждого вида керамического и слюдяного конденсаторов регламентируется предельная реактивная мощность,

которая не должна превышать при эксплуатации. Она зависит от размеров и конструкции конденсатора.

Эффективное значение переменного напряжения на конденсаторе (в вольтах), при котором реактивная мощность достигает предельной величины, определяется формулой

$$U = 565 \sqrt{\frac{P_r}{fC}},$$

где P_r — предельная для данного конденсатора реактивная мощность в вольтамперах,

f — рабочая частота переменного тока в мегагерцах,

C — емкость конденсатора в пикофарадах.

Маркировка конденсаторов постоянной емкости. На конденсаторах, имеющих достаточно большие габариты, обозначаются их типы, номинальные рабочие напряжения, номинальные емкости в пикофарадах или в микрофарадах и допустимые отклонения от номинальных емкостей в процентах. Кроме того, ставится марка завода-изготовителя, месяц и год выпуска конденсатора. Если конденсаторы данного типа выпускаются только по одному классу точности (например, электролитические), величина допуска на них обычно не указывается.

На слюдяных и стеклоэмалевых конденсаторах, кроме того, ставится буква, указывающая, к какой группе по ТКЕ относится данный конденсатор (см. стр. 143). Группа ТКЕ керамических конденсаторов обычно обозначается цветным кодом — окраской корпуса конденсатора в цвет, присвоенный данной группе ТКЕ (см. стр. 137).

Буквенное обозначение группы холодоустойчивости электролитического конденсатора (см. стр. 96) входит в наименование его типа.

На малогабаритных конденсаторах их тип обычно не указывают; при этом если все конденсаторы данного типа выпускаются только на одно номинальное рабочее напряжение, не указывается и величина напряжения. На малогабаритных керамических конденсаторах часто не ставится и обозначение единицы емкости (*мкмкф* или *пф*). На керамическом конденсаторе емкостью в несколько пикофарад вместо обычного допуска в процентах указывается допуск в пикофарадах; если допуск не указан, значит, конденсатор выпущен по классу точности III.

Обозначение конденсаторов постоянной емкости в технической документации. В спецификациях к схемам радиотехнической и электронной аппаратуры и в другой технической документации основные данные применяемых конденсаторов постоянной емкости указываются сокращенными записями в следующем порядке:

1. Тип конденсатора.
2. Вид (разновидность) конденсатора.
3. Номинальное рабочее напряжение конденсатора в вольтах или киловольтах.
4. Буквенное обозначение группы ТКЕ (для керамических и слюдяных конденсаторов) или группы сопротивления изоляции (для металlobумажных конденсаторов типа МБГЦ и МБГП).

5. Номинальная емкость конденсатора в пикофарадах или микрофарадах.

6. Класс точности.

Между всеми этими величинами и обозначениями ставятся дефисы (черточки).

Если конденсаторы данного типа не имеют разновидностей или выпускаются только на одно рабочее напряжение или по одному классу точности, соответствующие цифры или буквы в обозначение не включаются.

В обозначение бумажного конденсатора после указания его типа и вида иногда добавляется цифра, соответствующая числу изолированных от корпуса выводов, и буква, указывающая на их местоположение на корпусе (В — вверху, Н — внизу, Б — сбоку).

В обозначении бумажного проходного конденсатора (см. стр. 71) после номинального рабочего напряжения указывается наибольший допустимый ток через стержень конденсатора в амперах.

В конец обозначения электролитического конденсатора добавляется буквенное обозначение группы его холодоустойчивости. Иногда это буквенное обозначение ставят в виде знаменателя под величиной рабочего напряжения электролитического конденсатора. Если электролитические конденсаторы данного типа выпускаются с различными расположениями выводов на корпусе, в их обозначения добавляются буквы (В, Н, Б), имеющие такое же значение, как и в обозначениях бумажных конденсаторов.

В некоторых случаях возможны отклонения от общепринятых обозначений. Так, например, в обозначении электро-

литических конденсаторов ЭГЦ рабочее напряжение и емкость указывают не в строку, а в виде дроби.

Ниже приводятся примеры обозначения конденсаторов постоянной емкости в технической документации:

а) Конденсатор Бумажный Герметизированный (тип КБГ) в корпусе из изоляционного материала (вид И) на номинальное рабочее напряжение 200 в с номинальной емкостью 0,1 мкф и допуском по классу точности III обозначается так: КБГ-И-200-0,1-III.

Буквы после величины номинального напряжения здесь нет, так как конденсаторы этого типа ни по величине ТКЕ, ни по величине сопротивления изоляции не классифицируются.

б) Конденсатор Слюдяной Опрессованный (тип КСО) вида 2 на номинальное рабочее напряжение 500 в, температурный коэффициент емкости которого соответствует группе В, с номинальной емкостью 100 пф и допуском по классу точности II обозначается так: КСО-2-500-В-100-II.

2. Физические процессы в диэлектриках

Простейший конденсатор состоит из двух металлических поверхностей — обкладок, разделенных диэлектриком. Для получения большей емкости применяют большее число обкладок, чередующихся со слоями диэлектрика, соединяя обкладки между собой через одну. Большинство конденсаторов широкого применения имеет твердые диэлектрики.

Надежность работы конденсаторов в аппаратуре и основные электрические свойства конденсаторов определяются в первую очередь свойствами примененных в них диэлектриков. Поэтому необходимо иметь представление о происходящих в них физических явлениях.

Атомы и молекулы проводников и диэлектриков. Как известно, атом всякого вещества состоит из относительно тяжелого ядра, имеющего положительный электрический заряд, и движущихся вокруг ядра гораздо более мелких электронов, представляющих собой элементарные отрицательные заряды. Каждый электрон обладает вполне определенной энергией. Области, в которых движутся электроны вокруг атомного ядра, называют электронными оболочками атома. У атомов различных элементов может быть от одной до семи таких оболочек. У атома водорода в первой ближайшей к ядру оболочке имеется один электрон; у ато-

мов всех других элементов в этой оболочке имеются два электрона. Во внешней оболочке атома может быть от одного до восьми электронов. Последние называются в а л е н т н ы м и э л е к т р о н а м и.

По современным научным воззрениям, электроны нельзя представлять как некие шарики, вращающиеся вокруг атомного ядра подобно тому, как планеты вращаются вокруг солнца. Электроны как бы «размазаны» по оболочкам атома и образуют «облако», окружающее ядро атома. В простейшем виде это облако можно представить в форме шара, однако такая форма не обязательна.

Когда сумма отрицательных зарядов электронов атома численно равна положительному заряду ядра и при этом центры суммарного отрицательного и суммарного положительного зарядов совпадают, атом внешне не проявляет никаких электрических свойств; такой атом называют электрически нейтральным, неполярным (полагая, что электронные оболочки имеют шаровую форму, а ядро расположено в центре атома, геометрические центры оболочек совпадают с центром атомного ядра).

Если же во внешней оболочке атома окажется избыточное или недостаточное количество электронов по сравнению с нормальным, его называют и о н и з и р о в а н н ы м а т о м о м или и о н о м. В первом случае атом проявляет свойства отрицательно заряженной частицы и поэтому называется отрицательным ионом или анионом; во втором случае атом проявляет свойства положительно заряженной частицы и называется п о л о ж и т е л ь н ы м и о н о м или к а т и о н о м. Процесс приобретения атомом дополнительных электронов или отдачи им валентных электронов называется и о н и з а ц и е й а т о м а.

В некоторых условиях центры положительного и отрицательного зарядов атома могут быть «раздвинуты», т. е. могут не совпадать, тогда говорят, что атом электрически поляризован.

Два раздвинутых, разноименных и равных по величине электрических заряда $+q$ и $-q$ называют электрическим диполем. На рис. 1 дано его схематическое изображение. Характеристикой диполя является его электрический момент p , который выражается как произведение численной величины каждого из зарядов ($+q$ или $-q$) на расстояние l между их центрами, т. е. $p = ql$. Электрический момент диполя является направленной величиной; он опре-

деляется не только численным значением, но и относительным положением зарядов в пространстве.

Итак, поляризованный атом представляет собой электрический диполь и обладает электрическим моментом.

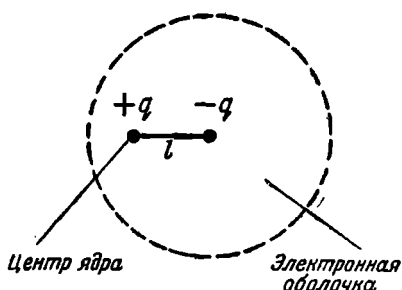


Рис. 1. Поляризованный атом — электрический диполь

Строение молекул металлов и диэлектриков. В большинстве существующих в природе веществ атомы объединены в молекулы. Валентные электроны атомов металлов могут легко покидать их внешние оболочки и перемещаться между атомами. Следовательно, металл можно рассматривать как систему из положительных ионов, находящихся в среде непрерывно движущихся в различных направлениях свободных коллективизированных электронов.

При наличии внешних электрических сил движение электронов в металле делается упорядоченным (большая часть их движется вдоль линий электрического поля), что и проявляется как электрический ток. В диэлектриках же валентные электроны удерживаются притяжением атомных ядер более прочно. Поэтому, когда диэлектрик находится в относительно слабом электрическом поле, содержащиеся в нем электроны не могут покидать свои атомы или молекулы, т. е. ионизация их в этих условиях невозможна. Она возникает только тогда, когда диэлектрик попадает в сильное электрическое поле. В этих условиях через диэлектрик протекает электрический ток, диэлектрик пробивается, т. е. теряет электроизолирующие свойства. Однако и в слабых электрических полях атомы и молекулы диэлектриков претерпевают определенные изменения, о чем будет сказано ниже.

По особенностям поведения в электрическом поле диэлектрики делятся на неполярные и полярные. Рассмотрим, в чем заключается различие между ними.

В образовании молекул принимают участие только валентные электроны входящих в них атомов. В одних случаях валентные электроны одних атомов переходят во внешние электронные оболочки других атомов, т. е. атомы, образующие молекулы, становятся ионами (ионная связь). Такие вещества называются ионными. В других случаях валентные электроны становятся общими для атомов, образующих молекулу, т. е. их внешние электронные оболочки как бы сливаются воедино (совместновалентная или ковалентная связь).

Существуют также и другие способы связи между атомами в молекулах. Иногда в одной молекуле могут быть одновременно разные виды связи между атомами. Однако во всех случаях сумма отрицательных зарядов электронных оболочек атомов, образующих молекулу, остается равной сумме положительных зарядов ядер. Молекула электрически нейтральна.

Если атомы располагаются в молекуле так, что центры суммарного положительного и суммарного отрицательного зарядов совпадают, молекула будет неполярна. Диэлектрик, состоящий из таких молекул, также называется **н е п о л я р н ы м**. К числу неполярных диэлектриков относится большинство керамических материалов: слюда, церезин, парафин, некоторые органические пленки (из полистирола, тефлона). Однако атомы различных химических элементов иногда располагаются в молекуле так, что центры ее суммарного положительного и суммарного отрицательного зарядов оказываются несовмещенными. Такое «раздвижение» центров разноименных зарядов называется поляризацией молекулы, а сама молекула называется **п о л я р н о й** (или дипольной). Соответственно и диэлектрик, состоящий из полярных молекул, называется **п о л я р н ы м**. К числу полярных диэлектриков относятся такие жидкие и полужидкие вещества, как соевое, касторовое масло, а также некоторые твердые вещества (например, целлюлоза или клетчатка).

Заметим, что при отсутствии внешнего электрического поля поляризация такого диэлектрика в целом не проявляется, так как вследствие вращательного теплового движения различные молекулы диэлектрика в каждый данный момент времени занимают друг к другу различные равновероятные положения, их дипольные моменты направлены в

разные стороны и взаимно компенсируются в объеме диэлектрика.

Неполярный диэлектрик в электрическом поле. Рассмотрим поведение неполярного диэлектрика, находящегося между обкладками конденсатора, на одной из которых имеются положительные, а на другой отрицательные заряды.

В пространстве между обкладками конденсатора существует электрическое поле, т. е. действуют электрические силы. Напряженность поля тем больше, чем больше напряжение на конденсаторе и чем меньше расстояние между его обкладками. Принято считать, что силовые линии поля направлены от положительно заряженной к отрицательно заряженной обкладке. Первая из них притягивает к себе электроны молекулы диэлектрика, вследствие чего центр суммарного отрицательного заряда молекулы упруго смещается относительно центра ее суммарного положительного заряда, т. е. молекула поляризуется. При этом расстояние l , на которое раздвигаются эти центры, пропорционально напряженности электрического поля E , создающего смещение зарядов. Другими словами, чем больше напряженность поля, тем больше относительное смещение зарядов и тем больше электрический момент диполя. Он направлен от одной обкладки конденсатора к другой, т. е. вдоль силовых линий электрического поля.

Точно так же поляризуются и все другие молекулы диэлектрика, т. е. поляризуется весь диэлектрик, находящийся между пластинами конденсатора.

Поскольку в рассматриваемом случае поляризация происходит из-за смещения электронов, ее называют **электронной**, а поскольку она вызвана влиянием внешних сил, ее называют **индуцированной** (наведенной извне) **поляризацией**. Соответственно и электрический момент возникающего при этом диполя называют **индуцированным**. Отношение индуцированного электрического момента к напряженности электрического поля называется **поляризуемостью диэлектрика**.

Такова физическая картина поляризации церезина, полистирола.

В слюде и керамических диэлектриках на основе рутила и перовскита, молекулы которых состоят из ионов, кроме смещения электронов под действием внешнего электрического поля, наблюдается также упругое смещение ионов, т. е. одновременно с электронной поляризацией происходит еще и **ионная поляризация**.

Упруго смещающиеся в молекулах диэлектрика заряды связывают часть зарядов на обкладках и позволяют увеличить общий заряд конденсатора. Чем сильнее поляризуется диэлектрик, т. е. чем больше смещаются заряды в молекулах при данном напряжении на обкладках конденсатора, тем больший заряд он накапливает (при неизменных размерах его обкладок, неизменном расстоянии между ними). Величина, показывающая, во сколько раз емкость конденсатора с данным диэлектриком больше емкости конденсатора такого же размера, но с воздухом между обкладками, называется диэлектрической проницаемостью этого диэлектрика и обозначается греческой буквой ϵ (эпсилон). Так, например, полистирол имеет $\epsilon \approx 2,5$; церезин — около 2,2. Диэлектрики, которые, помимо электронной поляризации, имеют ионную поляризацию, естественно, обладают более высокой диэлектрической проницаемостью. Так, у слюды $\epsilon \approx 5$, а у керамических материалов на основе рутила и перовскита — 12—190.

Диэлектрическая проницаемость

$$\epsilon = 1 + 4\pi \frac{P}{E},$$

где P — поляризация, равная электрическому моменту единицы объема диэлектрика;

E — напряженность электрического поля.

При повышении температуры вследствие теплового расширения диэлектрика и уменьшения числа частиц в единице объема (уменьшение плотности вещества) поляризуемость диэлектрика, в котором происходит только электронная поляризация, уменьшается; это приводит к уменьшению его диэлектрической проницаемости. Поэтому конденсаторы с диэлектриком из полистирола и обладают отрицательным ТКЕ.

В большинстве ионных веществ при изменении температуры влияние поляризуемости ионов сильнее, чем влияние изменения плотности, вследствие чего ϵ этих веществ при нагревании возрастает (температурный коэффициент положительный). Исключение составляют некоторые керамические диэлектрики, в которых преобладает электронная поляризация, усиленная под влиянием добавочного внутреннего поля при ионном смещении.

Если конденсатор разрядить, т. е. прекратить действие электронного поля на электроны и ионы молекул неполярного диэлектрика, они упруго возвратятся в свое нормальное

состояние; центры суммарного положительного и суммарного отрицательного зарядов во всех молекулах снова окажутся совмещенными, т. е. индуцированная поляризация исчезнет.

Если конденсатор включен в цепь переменного тока, заряды на его обкладках появляются дважды в течение периода. Соответственно два раза в течение периода возникает и исчезает индуцированная поляризация молекул диэлектрика, причем во время одного полупериода дипольный момент имеет одно направление, а во время другого полупериода — противоположное.

Время, в течение которого дипольный момент может изменить свое направление на обратное, при электронной поляризации составляет 10^{-14} — 10^{-15} сек, а при ионной — около 10^{-13} сек, т. е. на несколько порядков меньше длительности периода колебания самой высокой частоты, практически применяемой в современной радиотехнике. Другими словами, электронная и ионная поляризации диэлектрика существуют на всех этих частотах. При этом на смещение электронов в молекулах неполярных диэлектриков энергия электрического поля не затрачивается, а на смещение ионов теряется ничтожно малая энергия. Последние обстоятельства и позволяют применять конденсаторы с неполярными диэлектриками в высокочастотных колебательных контурах и других цепях с токами высокой частоты.

Полярный диэлектрик в электрическом поле. В молекулах полярных веществ, находящихся в электрическом поле, также происходит смещение электронов (электронная поляризация), но, кроме того, дипольные моменты молекул (находящихся при отсутствии внешнего поля в хаотическом тепловом движении) под действием этого поля стремятся ориентироваться вдоль его линий. Другими словами, заряды на обкладках конденсатора стремятся повернуть молекулы — диполи таким образом, чтобы их отрицательные заряды были обращены к положительно заряженной обкладке конденсатора, а положительные заряды — к отрицательно заряженной обкладке. Последнее явление называют **д и п о л ь н о й** (дипольно-релаксационной) **п о л я р и з а ц и е й**.

Однако молекулы могут вращаться только в тех случаях, когда молекулярные силы не мешают этому, например в жидких полярных диэлектриках — совол, касторовое масло. При увеличении напряженности поля дипольная поляризация увеличивается, но вращательное тепловое движение мо-

лекул препятствует их полному установлению в направлении электрического поля.

В некоторых твердых полярных диэлектриках, где молекулярные силы так велики, что вращательное движение молекул невозможно, могут вращаться полярные радикалы * относительно молекул. Это явление наблюдается, например, в клетчатке (целлюлозе), где полярными группами являются гидроксилы (ОН).

Время установления дипольной поляризации больше времени электронной и ионной поляризаций; оно составляет 10^{-5} — 10^{-12} сек, увеличиваясь с увеличением вязкости диэлектрика. При повышении температуры диэлектрика связь между его молекулами ослабляется и они быстрее ориентируются в направлении электрического поля.

Если между обкладками конденсатора с диэлектриком, содержащим полярные вещества, существует переменное электрическое поле, молекулы этих веществ или входящие в них радикалы дважды в течение периода стремятся изменить свое положение. Но для поворота молекул требуется затрата энергии, вследствие чего в конденсаторах с такими диэлектриками происходят значительные потери энергии, диэлектрики нагреваются. При повышении температуры потери уменьшаются.

Если время поворота полярных радикалов или молекул больше продолжительности периода электрического поля, дипольная поляризация за это время не успевает установиться. Вследствие этого при достаточно высоких частотах практически имеет место только электронная поляризация диэлектрика. Внешне это проявляется в том, что с повышением частоты приложенного к конденсатору напряжения диэлектрическая проницаемость полярных диэлектриков уменьшается.

Потери в диэлектрике увеличиваются с ростом частоты до тех пор, пока поляризация успевает следовать за изменением поля. При больших частотах полярные радикалы или молекулы не успевают ориентироваться в течение каждого полупериода и потери становятся постоянными.

* В химии радикалами называют группы атомов в молекулах (состоящие чаще всего из водорода, углерода, кислорода и некоторых других элементов), обладающие свойством переходить при химических реакциях без изменения из одного химического соединения в другое. Если атомы в радикалах взаимно расположены так, что каждый из них обладает дипольным моментом, радикалы называют полярными.

Структура сегнетоэлектриков. Особую группу диэлектриков, применяемых в конденсаторах, составляют так называемые сегнетоэлектрики*. К их числу относятся керамические материалы, содержащие титанаты бария и стронция (BaTiO_3 и SrTiO_3). Эти материалы обладают в определенных интервалах температур очень большой диэлектрической проницаемостью (до нескольких тысяч); при этом она гораздо сильнее зависит от температуры, чем у всех других диэлектриков, и, кроме того, изменяется с изменением напряженности поля (напряжения на обкладках конденсатора), в то время как у большинства других диэлектриков этого явления практически нет.

Конденсаторные диэлектрические материалы, содержащие титанаты, имеют поликристаллическое строение, т. е. представляют собой мелкие, спекшиеся между собой кристаллики, которые обладают ионной структурой.

Во всяком ионном кристалле ионы располагаются в строго определенном порядке, образуя так называемую кристаллическую решетку, состоящую из отдельных одинаковых по структуре элементарных ячеек. В каждой из них имеется хотя бы по одному иону каждого из элементов, входящих в кристалл. Так, элементарная ячейка кристалла титаната бария при температуре выше 120°C имеет форму куба, в вершинах которого расположены центры восьми положительных ионов бария, в центрах граней — шесть отрицательных ионов кислорода, а внутри куба — один положительный ион титана (рис. 2, а). При этом ионы бария и кислорода одновременно входят в соседние элементарные ячейки кристаллической решетки (рис. 2, б). Размер иона титана несколько меньше пространства между ионами кислорода, поэтому ион титана и любой из окружающих его ионов кислорода могут вследствие теплового движения сближаться. При отсутствии внешних электрических сил сближение ионов кислорода (за счет теплового движения) равновероятно, среднее положение иона титана совпадает с центром симметрии элементарной ячейки и поляризация ее не проявляется. При температуре ниже 120°C , называемой температурой Кюри (или точкой Кюри), в каждом кристалле тита-

* Свое название сегнетоэлектрики получили от применявшейся в медицинской практике сегнетовой соли, в кристаллах которой впервые были открыты особые электрофизические явления, о которых мы скажем ниже.

ната бария возникает спонтанная (самопроизвольная) поляризация*.

Сущность этого процесса заключается в следующем. При температуре ниже точки Кюри интенсивность теплового движения уменьшается. Вследствие этого сблизившиеся между собой положительный ион титана и один из отрицательных ионов кислорода каждой элементарной ячейки задержива-

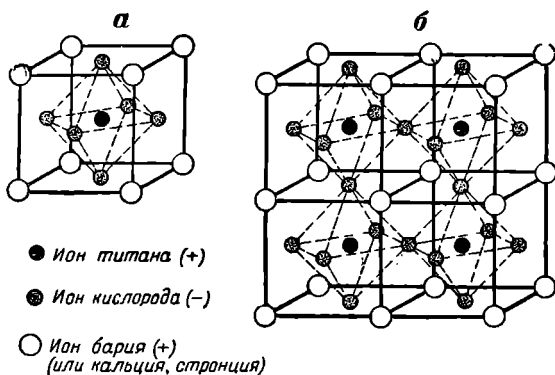


Рис. 2. Расположение ионов в кристалле титаната бария:

а — одна элементарная ячейка; *б* — несколько смежных элементарных ячеек

ются в таком состоянии**. Это приводит к нарушению симметрии расположения ионов в каждой ячейке: центр ее суммарного положительного заряда перестает совпадать с центром суммарного отрицательного заряда, т. е. ячейка самопроизвольно поляризуется — приобретает свойства электрического диполя. При этом играет роль и смещение других ионов ячейки. Нарушение симметрии в расположении ионов в элементарных ячейках приводит к перекристаллизации кристалла: каждая его ячейка вытягивается в одном направлении и одновременно сжимается в двух других перпендикулярных направлениях — приобретает вместо кубической тетрагональную форму (форму параллелепипеда, основанием которого служит квадрат, а высота больше стороны этого квадрата). Так как каждый ион кислорода входит одновременно в соседние элементарные ячейки и при этом

* Указанная температура относится к титанату бария, который имеет незначительное количество примесей. Изменяя состав и количество примесей, как мы увидим ниже, можно существенно изменять температуру, при которой возникает спонтанная поляризация.

** Точнее, сближаются центры колебательного движения ионов.

ионы кислорода и титана взаимодействуют в этих ячейках, ионы кислорода и титана смещаются в одном направлении в группе ячеек. При этом в каждом кристаллике образуются целые области спонтанной поляризации, состоящие из линейных цепочек элементарных ячеек, поляризованных в одном направлении. Такие области называются доменами. Размеры областей в пределах кристалла могут быть различными, но поскольку количества и размеры доменов с различными направлениями поляризации равновероятны, спонтанная поляризация каждого кристаллика и поликристаллического образца титаната бария в целом не проявляется. Структура кристалла со спонтанно-поляризованными доменами схематически изображена на рис. 3, а. Отметим, что

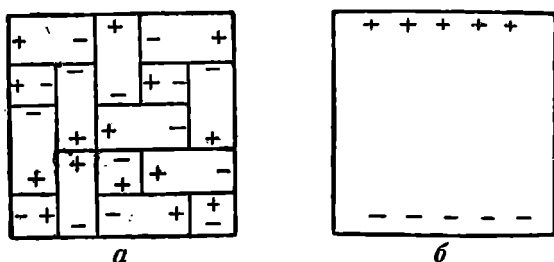


Рис. 3. Спонтанная поляризация сегнетоэлектрического кристалла:

а — домены имеют различные направления поляризации;
б — все домены от действия внешнего поля слились в один

явление спонтанной поляризации не может быть полностью изображено на плоскости, так как часть доменов поляризуется также и в направлениях, перпендикулярных плоскости рисунка, т. е. доменная структура является объемной (всего может быть 6 направлений поляризации). Доменную структуру кристалла титаната бария можно увидеть, рассматривая его под микроскопом в поляризованном свете.

При температурах около нуля и -70°C форма элементарных ячеек кристаллической решетки титаната бария претерпевает некоторые дальнейшие превращения, однако спонтанная поляризация сохраняется.

При нагревании титаната бария выше температуры Кюри (120°C) вследствие усиления теплового движения ионов спонтанная поляризация исчезает, а вместе с ней нарушается и доменная структура кристаллов.

Сегнетоэлектрики в электрическом поле. Если поликристаллический титанат бария, имеющий температуру ниже точки Кюри, поместить между пластинами заряженного конденсатора, в каждой элементарной ячейке каждого входящего в него кристаллика возникает индуцированная (электронная и ионная) поляризация. При этом положительные ионы титана будут стремиться сблизиться с теми ионами кислорода, направления на которые наиболее близки к направлениям на пластины, имеющие отрицательный заряд. В тех ячейках, где такие перебросы произойдут, ионы титана останутся сближенными с указанными ионами кислорода. Чем больше будет напряженность поля между обкладками конденсатора, тем больше элементарных ячеек кристалликов спонтанно поляризуется в направлениях, совпадающих с направлением линий поля или близких к нему, т. е. тем большее число доменов будет ориентировано в этих направлениях, тем крупнее будут домены. При некоторой напряженности поля все домены каждого кристаллика приобретают полярность одного направления, т. е. сливаются в один домен (рис. 3, б). Его можно рассматривать как один большой электрический диполь. В таком состоянии кристаллики остаются длительное время и после выключения напряжения с конденсатора (индуцированная электронная и ионная поляризации после выключения напряжения пропадают).

На двух противоположных поверхностях каждого однодоменного кристалла, перпендикулярных к направлению его электрического момента, должны, очевидно, возникнуть электрические заряды, равные по величине и противоположные по знаку. Однако положительные заряды будут быстро нейтрализованы электронами, пришедшими с соседних кристаллов поликристаллического материала, а отрицательные заряды (излишние электроны) уйдут на положительно заряженные поверхности других кристаллов. Пока существует спонтанная поляризация, «прилипшие» к поверхностям кристалла заряды будут прочно удерживаться выступившими изнутри зарядами. В результате ни на поликристаллическом образце титаната бария в целом, ни на одном из составляющих его кристалликов внешних зарядов обнаружить не удастся.

При работе сегнетоконденсаторов в цепях переменного тока высокой частоты сегнетоэлектрические свойства сохраняются до частот порядка 10—100 Мгц. При более высоких частотах дипольные моменты не успевают изменять свои направления в течение половины периода колебания.

Диэлектрическая проницаемость ϵ сегнетоэлектриков достигает наибольшего значения при температуре, соответствующей точке Кюри (рис. 4, а). Это объясняется тем, что вблизи точки Кюри происходит преобразование структуры кристаллической решетки — ионы находятся в неустойчивом состоянии, и поэтому достаточно воздействия на них очень небольших внешних электрических сил для того, чтобы сильно повлиять на этот процесс и вызвать значительные изменения величины поляризации.

При температуре Кюри (120°C) и малых напряженностях внешнего поля диэлектрическая проницаемость титаната бария превышает 6000. Она так велика потому, что влияние спонтанной поляризации значительно больше влияния индуцированной поляризации.

Если ввести в титанат бария даже небольшие добавки в виде ионных веществ, имеющих кристаллическую структуру, аналогичную структуре титаната бария (т. е. получить так называемый твердый раствор), температура Кюри и диэлектрическая проницаемость при этой температуре изменятся. Так, например, добавка станата бария BaSnO_3 , цирконата бария BaZrO_3 или титаната стронция SrTiO_3 смещает точку Кюри в область более низких температур. В частности, при определенном процентном содержании добавок можно получить материал с максимумом диэлектрической проницаемости при нормальной температуре (20°C). Введение титаната свинца PbTiO_3 смещает точку Кюри в область более высоких температур. Следует заметить, что многие из новых керамических сегнетоэлектриков вообще не содержат титаната бария.

При снижении температуры ниже точки Кюри диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектриков падает вследствие уменьшения подвижности ионов. Однако при $20\text{--}80^\circ \text{C}$ диэлектрическая проницаемость титаната бария больше 1000. При температурах, близких к нулю и к -70°C , когда, как мы уже говорили, происходит перестройка кристаллической структуры (перекристаллизация) титаната бария, наблюдается небольшое повышение диэлектрической проницаемости.

У поликристаллического титаната бария, состоящего из очень мелких кристалликов, диэлектрическая проницаемость больше по величине и меньше зависит от температуры (в интервале температур $20\text{--}90^\circ \text{C}$ $\epsilon \approx 3000$).

В области температур ниже точки Кюри поляризуемость сегнетоэлектриков и их диэлектрическая проницаемость

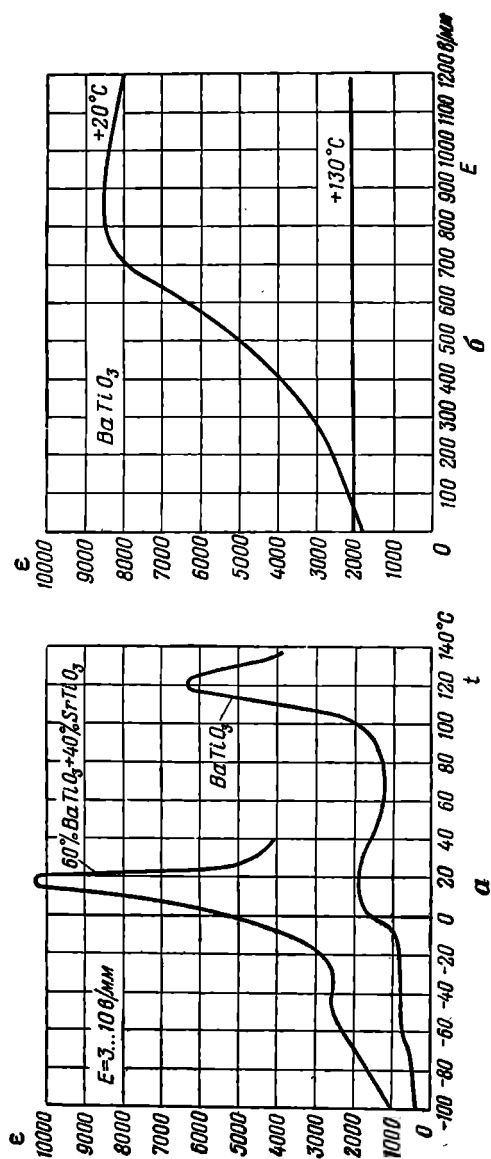


Рис. 4. Кривые зависимости диэлектрической проницаемости сегнетокерамических материалов:
 а — от температуры; б — от напряженности поля

сильно и нелинейно зависят от напряженности внешнего поля E , т. е. от напряжения на обкладках конденсатора. При относительно небольших напряженностях поля увеличение E ведет к возрастанию ϵ вследствие усиления как спонтанной, так и индуцированной поляризации. Диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектрика

$$\epsilon = 1 + 4\pi \frac{P_i + P_s}{E},$$

где P_i — индуцированная поляризация;

P_s — поляризация, вызываемая ориентацией доменов;

E — напряженность поля.

При напряженности поля, больше той, при которой все домены каждого кристаллика сливаются в один, спонтанная поляризация P_s делается постоянной (достигает насыщения) и больше уже не зависит от напряженности поля E . Дальнейшее увеличение E может увеличивать только индуцированную поляризацию P_i . Из приведенного равенства следует, что после того как величина спонтанной поляризации станет постоянной, дальнейшее повышение напряженности поля ведет к снижению диэлектрической проницаемости. Указанное явление иллюстрируется кривой рис. 4, б.

При температуре выше точки Кюри, где спонтанной поляризации нет, диэлектрическая проницаемость определяется только индуцированной поляризацией и поэтому, естественно, падает. В этих условиях диэлектрическая проницаемость не зависит от напряженности поля.

Объемное сопротивление сегнетокерамики существенно ниже, чем у других видов керамики, а диэлектрические потери больше.

3. Керамические конденсаторы

Керамические конденсаторные материалы. Слово «керамика» происходит от древнегреческого слова «керамос», что означает горшечная глина. Керамикой, керамическими материалами, керамическими изделиями в обиходе называют материалы и изделия, изготавливаемые путем обжига минеральной массы, основной составной частью которой является глина. По своей структуре керамика представляет спекшиеся от действия высокой температуры отдельные мелкие частицы вещества.

Одним из видов керамики является фарфор. В состав сырой массы, из которой изготавливаются фарфоровые изделия, входит около 50% белой глины — каолина ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и других глин, около 25% калиевого полевого шпата ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) и около 25% кварца. Последний содержит около 98% кремнезема — окисла кремния SiO_2 . Все эти вещества являются силикатами, т. е. природными солями кремниевой кислоты H_2SiO_3 . Их размалывают в мелкий порошок, добавляют воду и из полученной густой пластичной (тестообразной) массы изготавливают изделия необходимой формы. Во время их обжига происходят следующие химические реакции: при 500—600° С каолин разлагается, из него удаляется вода. При 900° С из глинозема Al_2O_3 и кремнезема SiO_2 образуются кристаллы муллита ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). Наконец, при 1200° С происходит плавление полевого шпата и частичное растворение в нем кварца — образуется полевошпатное стекло, которое заполняет промежутки между кристаллами и прочно их связывает между собой. При охлаждении получается твердое вещество, состоящее из двух фаз: стеклообразной (аморфной) и поликристаллической. Это и есть фарфор.

В современной технике термин «керамика» применяют ко многим материалам, изготавливаемым аналогичным способом и имеющим подобную же структуру, хотя во многие из них глина вовсе не входит или составляет только небольшую часть исходного материала. К таким материалам относятся некоторые виды керамики, используемой для изготовления изоляторов и применяемой в качестве диэлектриков в электрических конденсаторах. Керамика, применяемая в конденсаторах, называется конденсаторной, а изготавливаемые из нее конденсаторы называются керамическими.

По основным электрическим свойствам, определяющим области применения конденсаторной керамики, она разделяется на высокочастотную и низкочастотную (сегнетокерамику).

Первая характеризуется весьма низкими диэлектрическими потерями в полях высокой частоты, при этом почти у всех ее сортов с повышением частоты эти потери уменьшаются. К тому же емкость конденсаторов из высокочастотной керамики при изменениях температуры изменяется по закону, близкому к линейному. Благодаря таким высоким электрическим характеристикам конденсаторы с диэлектриком из высокочастотной керамики за последние годы почти

полностью вытеснили слюдяные конденсаторы из высокочастотных контуров и цепей.

Сегнетокерамика, как мы уже говорили, обладает значительно большей диэлектрической проницаемостью, вследствие чего при тех же габаритах конденсаторы из керамики этого вида обладают значительно большей емкостью, чем конденсаторы из высокочастотной керамики. При этом конденсаторы из сегнетокерамики имеют меньший объем, чем слюдяные и даже бумажные конденсаторы той же емкости и номинального рабочего напряжения. Так, например, у конденсаторов из сегнетокерамики на номинальное рабочее напряжение до 150 в удельная емкость достигает 200 000—300 000 пф/см³. Однако конденсаторы с таким диэлектриком обладают большим тангенсом угла диэлектрических потерь и при изменении температуры емкость их изменяется в больших пределах и нелинейно, поэтому применяются они только в низкочастотных цепях, при относительно узком интервале рабочих температур, или когда изменение их емкости мало сказывается на работе аппаратуры.

В дальнейшем для краткости конденсаторы с диэлектриками из высокочастотной керамики мы будем называть керамическими конденсаторами, а конденсаторы с диэлектриками из сегнетокерамики — сегнетокерамическими конденсаторами или просто сегнетоконденсаторами.

По своим технологическим свойствам конденсаторная керамика делится на пластичную — с относительно большим содержанием глины в исходном материале (однако меньшем, чем в обычном фарфоре) и непластичную, — в которую глина не входит вовсе или применяется в небольших количествах. Чтобы мелко измельченные частицы сырой массы непластичной керамики сцеплялись между собой, массе придают пластичность, добавляя в нее органические связывающие вещества — связки (тунговое масло, декстрин). При обжиге эти связки выгорают, а оставшиеся частицы от действия высокой температуры спекаются между собой. Конденсаторная керамика, как правило, содержит мало стекловидной фазы.

Примером пластичной керамики, находящей применение в качестве высокочастотного конденсаторного диэлектрика, является ультрафарфор. Он отличается от обычного фарфора меньшим содержанием в исходном материале каолина и других глин, которые заменены чистым глиноземом Al_2O_3 и углекислым барием $BaCO_3$. Последний играет такую же роль, как и полевой шпат.

Основным материалом для изготовления керамического материала, носящего название радиостеатит, служит минерал тальк — силикат магнезии (тальковый камень имеет химический состав $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $4\text{MgO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Кроме того, в сырую керамическую массу входят в качестве плавней углекислый барий (BaCO_3) и углекислый кальций (CaCO_3).

Диэлектрическая проницаемость ультрафарфора и стеатита невелика (табл. 4). Оба эти материала не являются характерными представителями конденсаторной керамики. Их используют для изготовления конденсаторов со средним положительным ТКЕ.

Наиболее широко в качестве высокочастотных конденсаторных диэлектриков применяются керамические материалы на основе минерала рутила, который представляет собой кристаллическую модификацию двуокиси титана TiO_2 . Такие материалы могут быть изготовлены со значительно более высокой диэлектрической проницаемостью по сравнению с ультрафарфором и другими керамическими материалами. Поэтому конденсаторы из керамики, содержащей двуокись титана, могут иметь большую емкость при тех же габаритах.

К числу конденсаторных керамических материалов, содержащих двуокись титана, относится тиконд (титановый конденсаторный материал), разработанный Н. П. Богородицким и В. Н. Малышевым. Тиконд имеет несколько марок, отличающихся друг от друга диэлектрической проницаемостью и температурным коэффициентом емкости (см. табл. 4). Обозначения марок тиконда состоят из буквы Т и числа, указывающего на среднее значение его диэлектрической проницаемости.

В состав массы, идущей на изготовление тиконда различных марок, помимо двуокиси титана, входит от 10 до 30% глины, от 2 до 8% углекислого бария и некоторых других стеклообразующих добавок. Чем больший процент двуокиси титана содержится в массе, тем больше диэлектрическая проницаемость и численное значение ТКЕ тиконда.

Тикондовые конденсаторы применяются в тех случаях, когда необходимо снизить габариты конденсатора, но можно допустить относительно большие изменения емкости при изменении температуры. К числу таких конденсаторов относятся, например, блокировочные, разделительные, фильтровые. Тикондовые конденсаторы обладают отрицательным

ТКЕ, поэтому их можно использовать также в качестве термокомпенсирующих в высокочастотных колебательных контурах*.

Другим высокочастотным керамическим диэлектриком, широко применяемым в конденсаторах, является термоконтд (термостабильный конденсаторный материал), разработанный Д. М. Казарновским. Обозначения марок термоконда состоят из букв ТК с добавлением индекса. Диэлектрическая проницаемость термоконда различных марок меньше, чем у тиконда, но и температурные коэффициенты их также меньше.

Поэтому керамические конденсаторы с диэлектриком из термоконда применяются в основном в колебательных контурах и других цепях, где требуется возможно бо́льшая стабильность емкости при изменениях температуры.

В состав массы для изготовления термоконда, помимо двуокиси титана, входят двуокись циркония, окись магния и в качестве стеклообразующей добавки — углекислый барий. Различная диэлектрическая проницаемость и ТКЕ термокондов разных марок определяются процентным содержанием углекислого бария.

Сегнетокерамические материалы относятся к разряду непластичных. Исходным сырьем для их изготовления служат измельченные в порошок окислы металлов и углекислые соли. Так, титанат бария получают путем обжига смеси порошков двуокиси титана (TiO_2) и углекислого бария (BaCO_3). При температуре около 1400°C углекислый барий разлагается на окись бария (BaO) и углекислый газ (CO_2). Двуокись титана, соединяясь с окисью бария, образует поликристаллический титанат бария (BaTiO_3), а углекислый газ улетучивается.

* Сущность термокомпенсации заключается в следующем. Индуктивность катушки, как известно, зависит от ее числа витков, диаметра и других параметров. Если при повышении окружающей температуры диаметр катушки несколько увеличивается, ее индуктивность возрастает (катушка обладает положительным коэффициентом индуктивности — ТКИ). Это приводит к уменьшению частоты контура. Если в такой контур включить керамический конденсатор с отрицательным ТКЕ, то уменьшение его емкости при повышении температуры увеличит частоту контура, т. е. влияние такого конденсатора на изменение частоты контура противоположно влиянию катушки. В результате частота контура с конденсатором, имеющим отрицательный ТКЕ, при колебаниях окружающей температуры будет более стабильной. Включая в контур два конденсатора (или более) с различными ТКЕ и различной емкостью, можно обеспечить практически полную независимость частоты от температуры.

В таблице 4 приведены основные данные некоторых сегнетокерамических материалов, применяемых в отечественных конденсаторах. Основой сегнетокерамики СК-1 является титанат стронция SrTiO_3 ; эта керамика имеет точку Кюри при температуре ниже -70°C , и поэтому ее диэлектрическая проницаемость в рабочем интервале температур конденсаторов относительно небольшая. Кристаллы сегнетокерамики СК-2 могут иметь различный состав, например, они образуются из твердого раствора титанатов кальция, стронция и бария с небольшими другими добавками; процентное содержание исходных материалов подбирается таким образом, чтобы точка Кюри была расположена вблизи нормальной температуры, а диэлектрическая проницаемость в точке Кюри имела бы острый максимум. Кристаллы сегнетокерамики СК-3 состоят из твердого раствора титаната свинца в титанате бария; точка Кюри этого материала находится при температуре выше 100°C . Основой сегнетокерамики СМ-1 является титанат бария, содержащий несколько процентов свободной окиси бария, к которому в процессе производства добавляют небольшие количества двуокиси циркония и магнезии; эта керамика не имеет резко выраженного максимума диэлектрической проницаемости. В производстве серийных конденсаторов в настоящее время наибольшее распространение имеет сегнетокерамика СК-2, поскольку она обладает весьма высокой диэлектрической проницаемостью при температуре, близкой к нормальной. Поэтому из нее можно изготавливать конденсаторы наименьших габаритов при данной номинальной емкости.

Обкладки. Обкладки керамических конденсаторов выполняются в виде тонких слоев серебра, нанесенного непосредственно на поверхность керамики методом вжигания. Сущность этого метода заключается в следующем. На поверхность обожженной керамики наносится слой пасты, состоящей из углекислого серебра (Ag_2CO_3), окиси висмута (Bi_2O_3) и борнокислого свинца (PbB_4O_4) в растворе канифоли и скипидара. Затем керамическое изделие обжигают при 800°C , при этом органические вещества (канифоль и скипидар) выгорают, а металлическое серебро восстанавливается, образуя тонкий слой, крепко сцепленный с поверхностью керамики. Чтобы получить однородный слой серебра, операцию нанесения серебряной пасты и вжигания повторяют 2—3 раза. В конденсаторах большой реактивной мощности с целью уменьшения потерь энергии в обкладках по-

верх серебра осаждают гальваническим способом дополнительный слой меди.

После нанесения обкладок и припайки к ним выводов конденсаторы покрывают слоем цветной органической эмали, чтобы сделать их поверхность гидрофобной, защитить обкладки от механических повреждений и загрязнения, а также обозначить группу ТКЕ конденсатора.

Наибольшее распространение в радиотехнической аппаратуре имеют дисковые и трубчатые керамические конденсаторы. Менее распространены пакетные (пластиночные), бочоночные и горшковые керамические конденсаторы.

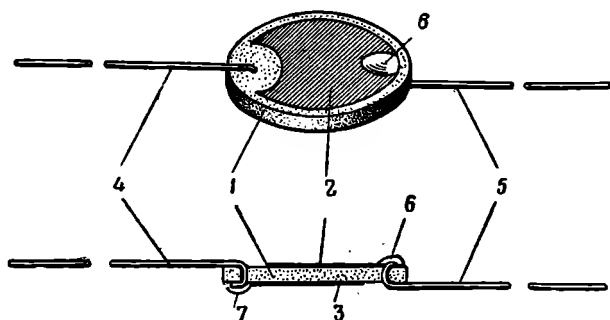


Рис. 5. Устройство дискового керамического конденсатора КДК-1 (КДК-2):

1 — керамический диск (эмалевое покрытие не показано); 2 и 3 — обкладки (для наглядности изображены на разрезе непропорционально толстыми); 4 и 5 — проводочные выводы; 6 и 7 — пайка выводов к обкладкам

Дисковые конденсаторы. К числу дисковых керамических конденсаторов относятся конденсаторы следующих типов (приводим их наименования с расшифровкой):

КДК и КД.* — конденсатор Дисковый Керамический.

КДМ — конденсатор Керамический Дисковый Малогабаритный.

КДУ — конденсатор Керамический Дисковый Ультравысокочастотный.

КДО — конденсатор Керамический Дисковый Опорный.

КДС — конденсатор Дисковый Сегнетокерамический.

Устройство и общие виды этих конденсаторов показаны на рис. 5 и 6, а их основные электрические параметры — в табл. 5 и 6. Конденсаторы КДК и КДУ изготавливаются из

* Конденсаторы КД раньше назывались КЭД.

тиконда, термоконда или ультрафарфора, конденсаторы КД — только из тиконда с высокой диэлектрической проницаемостью, конденсаторы КДС — из сегнетокерамики СК-2, конденсаторы КДМ и КДО — из всех перечисленных материалов.

Основой дискового конденсатора, как показывает само его название, является керамический диск толщиной от 0,15 мм (у конденсаторов КДМ) до 2 мм (у конденсаторов

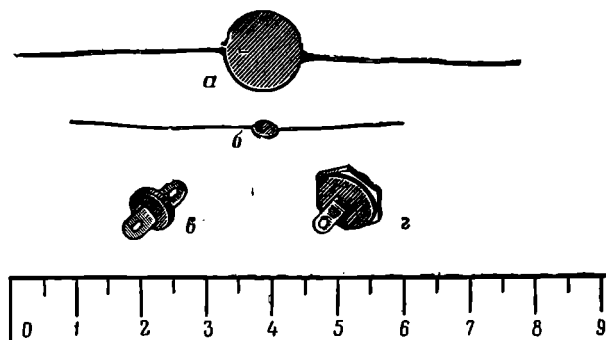


Рис. 6. Дисковые керамические конденсаторы:
а — КДК-2 (КДС); б — КДМ; в — КДУ; г — КДО

КДК и КДУ самых малых емкостей). Диски малой толщины изготавливаются следующим образом. Жидкая керамическая масса льется на движущуюся ленту. После высыхания массы получается керамическая пленка. Из нее вырезают диски, которые обжигают. Диски большей толщины прессуют из керамической массы индивидуально. Серебряный слой наносят на плоские поверхности дисков описанным выше способом.

Конденсаторы КДК, КД, КДМ и КДС имеют контактные выводы из медной посеребренной проволоки, припаянные непосредственно к обкладкам. У конденсатора КДК-3 ось выводов перпендикулярна к плоскости обкладок, у остальных конденсаторов — параллельна ей.

Контактные выводы конденсатора КДУ выполнены в виде широких и коротких латунных посеребренных лепестков, припаянных в центрах обкладок (рис. 6, в). Такие выводы обладают значительно меньшей индуктивностью по сравнению с проволочными, что позволяет использовать эти конденсаторы на частотах до 500 Мгц, в то время как конденса-

саторы с проволочными выводами могут нормально работать на частотах не выше нескольких десятков мегагерц.

У конденсатора КДО одна из обкладок имеет вывод такой же конструкции, как у конденсатора КДУ. Вторая обкладка конденсатора КДО (рис. 6, 2) всей своей поверхностью припаяна к плоской головке болта; болт крепит конденсатор на шасси (монтажной панели) и служит электрическим контактом этой обкладки с шасси. Следовательно, конденсаторы КДО удобны для использования в тех случаях, когда одна из обкладок должна быть заземлена (например, блокировочный конденсатор).

Трубчатые конденсаторы. К их числу относятся следующие:

КТК и КТ* — Конденсаторы Трубчатые Керамические.

КТМ — конденсатор Керамический Трубчатый Малогабаритный.

КТН — конденсатор Керамический Трубчатый Незащищенный.

КВКТ — Конденсатор Высоковольтный Керамический Трубчатый.

КГК — Конденсатор Герметизированный Керамический.

КО — конденсатор Керамический Опорный.

КТП — конденсатор Керамический Трубчатый Проходной.

КТПС — Конденсатор Трубчатый Проходной Сегнетокерамический.

Конденсаторы КТК, КВКТ, КГК и КТП изготавливаются из тиконда, термоконда или ультрафарфора, конденсаторы КТ — только из тиконда с высокой диэлектрической проницаемостью, конденсаторы КТПС — из сегнетокерамики, конденсаторы КО — из тиконда с высокой диэлектрической проницаемостью или из сегнетокерамики, конденсаторы КТМ — из всех этих керамических материалов.

Устройство и общие виды этих конденсаторов показаны на рис. 7 и 8, а их основные электрические параметры приведены в табл. 5 и 6.

Основа трубчатого керамического конденсатора — трубка, толщина стенки которой от 0,25 мм и больше, изготавливается из сырой керамической массы путем протяжки ее через мунштук и затем обжигается (для некоторых типов высоковольтных конденсаторов трубки изготавливаются методом прессования в формах). На внутреннюю поверхность

* Конденсаторы КТ изготавливались также под названием КЭТ.

трубки указанным выше способом наносится одна обкладка, а на внешнюю — другая.

Выводы конденсаторов КТК, КТ, КТМ выполняются из медной посеребренной проволоки; концы выводов непосредственно припаиваются к обкладкам. При этом у конденсатора КТК внутренний слой серебра выходит через один из торцов трубки на ее внешнюю поверхность, образуя на ней поясок (рис. 7, а и 8, а). У этого конденсатора концы проволочных выводов согнуты в кольца, которые плотно обхватывают концы трубки и припаяны к ним. Таким же способом припаян вывод внешней обкладки конденсатора КТ. Это повышает прочность крепления выводов к корпусу конденсатора.

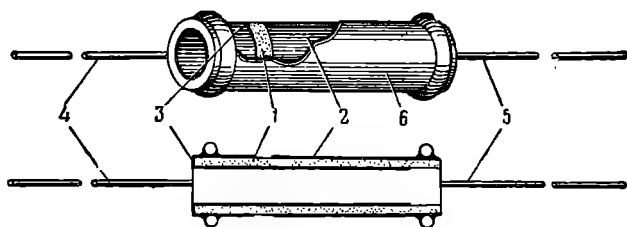
В связи с тем что у конденсаторов КТК по внешнему виду невозможно отличить выводы внешней и внутренней обкладок, около внешнего вывода на корпусе конденсатора делается черная отметка. У малогабаритного конденсатора КТМ выводы припаивают, не загибая в кольца (рис. 8, б).

Конденсаторы КТК, кроме того, выпускаются с выводами в виде латунных посеребренных лепестков удлиненной формы, припаянных к обкладкам (рис. 7, б). В этом случае внутренний слой серебра не выходит на внешнюю поверхность трубки. Эти конденсаторы отличаются большей вибропрочностью, чем конденсаторы КТК с проволочными выводами.

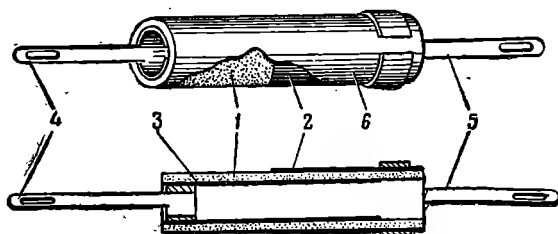
Конденсаторы КТК изготавливаются пяти видов (от КТК-1 до КТК-5), а конденсаторы КТ — трех видов (от КТ-1 до КТ-3). Все они имеют внешний диаметр 6 мм и длину корпуса от 13 до 52 мм (КТК-1 и КТ-1 самые короткие). Все конденсаторы КТМ имеют диаметр 3,5 мм и длину 10 мм.

Конденсаторы КТН имеют выводы в виде латунных посеребренных лепестков (рис. 7, б и 8, з). Диаметр корпуса этих конденсаторов всех видов (от КТН-1 до КТН-6) — 10 мм, длина от 14 до 64 мм, т. е. габариты их несколько больше, чем у КТК. Однако конденсаторы КТН рекомендуется применять в новой аппаратуре взамен конденсаторов КТК, так как они обладают лучшей теплоустойчивостью и более надежны в работе. По влагоустойчивости конденсаторы КТН не хуже герметизированных керамических конденсаторов КГК (см. стр. 45).

Конденсаторы КВКТ-5—КВКТ-24 имеют конструкцию, аналогичную конденсаторам КТН (рис. 7, з), но рассчитаны на работу при более высоких напряжениях и на большие реактивные мощности. Конденсаторы КВКТ-5—КВКТ-12



a



б

Рис. 7. Устройство трубчатого керамического конденсатора КТК:

a — с проволочными выводами; *б* — с ленточными выводами;
1 — керамическая трубка; *2* — внешняя обкладка; *3* — внутренняя обкладка; *4* и *5* — проволочные или ленточные выводы;
6 — эмалевое покрытие (на разрезах не показано)



a



б



в



г

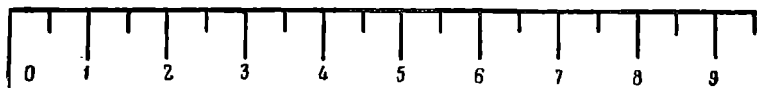


Рис. 8. Низковольтные трубчатые конденсаторы:

a — КТК-1; *б* — КТМ; *в* — КО; *г* — КТН-1

на номинальное рабочее напряжение постоянного тока 2,5 кВ имеют внешний диаметр около 20 мм и длину корпуса 29—63 мм, а конденсаторы КВКТ-13—КВКТ-24 на номинальное рабочее напряжение постоянного тока 1 кВ имеют внешний диаметр около 10 мм и длину корпуса 18—52 мм.

Когда на схеме прибора одна из обкладок конденсаторов КТК, КТ, КДМ, КТН, КВКТ-5—КВКТ-24 заземлена, с корпусом прибора должна обязательно соединяться внешняя обкладка. При этом внешняя обкладка одновременно играет роль своеобразного экрана для конденсатора. Указанное правило необходимо соблюдать при замене трубчатых керамических конденсаторов во время ремонта аппаратуры.

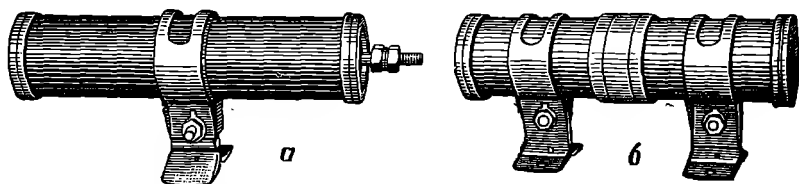


Рис. 9. Высоковольтные трубчатые керамические конденсаторы:
а — КВТК-1 (КВТК-3); б — КВТК-2 (КВТК-4)

Трубки высоковольтных керамических конденсаторов КВКТ-1 и КВКТ-3, рассчитанных на номинальные рабочие напряжения постоянного тока 4 и 8 кВ соответственно, имеют закраины, составляющие одно целое с этими трубками (рис. 9, а). Закраины затрудняют возникновение электрического перекрытия между обкладками конденсатора через края трубки. Поверхность внешней обкладки ограничивается этими закраинами. Вывод от внешней обкладки выполнен в виде латунного хомута, охватывающего внешнюю обкладку в средней части трубки. Лапки хомута закрепляют конденсатор в аппаратуре. Вывод от внутренней обкладки выполнен в виде болта с гайками. Диаметр корпуса этих конденсаторов 41—45 мм, длина 145—155 мм и 165—175 мм соответственно.

Высоковольтные керамические конденсаторы КВКТ-2 и КВКТ-4 имеют такую же длину, как конденсаторы КВКТ-1 и КВКТ-3 при несколько меньшем диаметре, но, кроме закраин на концах трубок, в их средних частях сделаны керамические пояса (рис. 9, б). По одну сторону этого пояса нанесена одна обкладка, а по другую — вторая. Третья обкладка нанесена на внутреннюю поверхность трубки. Выводы в виде хомутов сделаны от двух внешних обкладок.

Внутренняя обкладка вывода не имеет. Следовательно, каждый такой конденсатор в электрическом отношении представляет собой два соединенных последовательно конденсатора: один из них образуется одной из внешних обкладок и частью внутренней обкладки, а другой — второй внешней обкладкой и другой частью внутренней обкладки. Вследствие этого номинальное рабочее напряжение постоянного тока конденсаторов КВКТ-2 и КВКТ-4 в 1,5 раза больше, а переменного тока в 2 раза больше номинального рабочего напряжения конденсаторов КВКТ-1 и КВКТ-3 соответственно.

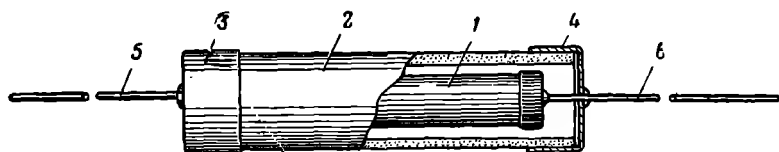


Рис. 10. Герметизированный керамический конденсатор КГК:

1 — трубчатый керамический конденсатор; 2 — внешняя керамическая трубка; 3 и 4 — концевые металлические колпачки; 5 и 6 — проволочные выводы

Конденсатор КГК (виды КГК-1 — КГК-5) имеет конструкцию, подобную конденсатору КТК, но керамическая трубка с обкладками заключена в герметическую оболочку — трубку из глазурованной керамики и напаянными на ее концы металлическими колпачками (рис. 10). Для спая металла с керамикой на концы трубки наносится предварительно методом вжигания слой серебра.

У конденсаторов КГК выводы проволочные, диаметр корпуса 7 мм, длина 16—55 мм (наименьшая у КГК-1). Группа ТКЕ определяется по цвету краски, которой напечатана на корпусе величина емкости конденсатора (в соответствии с цветным ходом, указанным в табл. 4). Вывод внешней обкладки обозначается чертой, как и на конденсаторах КТК. При монтаже конденсаторов КГК нужно пользоваться указанием, которое мы дали выше в отношении конденсаторов КТК и др.

Конденсатор КО устроен следующим образом: один конец его трубки впаян в металлическую втулку с внешней резьбой для крепления конденсатора на шасси прибора (рис. 8, в) и для создания надежного контакта внешней обкладки конденсатора с шасси прибора, в котором он монтируется. Вывод от внутренней обкладки выполнен в виде латунного посеребренного контактного лепестка. Конденса-

торы КО выпускаются двух видов — КО-1 и КО-2 и имеют то же назначение, что и конденсаторы КДО.

Трубчатый проходной конденсатор типа КТП (КТПС) имеет металлическую втулку с внешней резьбой, охватывающую керамическую трубку в средней ее части и припаянную к внешней обкладке (рис. 11). По оси трубки проходит металлический стержень, припаянный к внутренней обкладке.

Конденсаторы КТП изготавливаются шести видов (КТП-1—КТП-6), а конденсаторы КТПС — трех видов

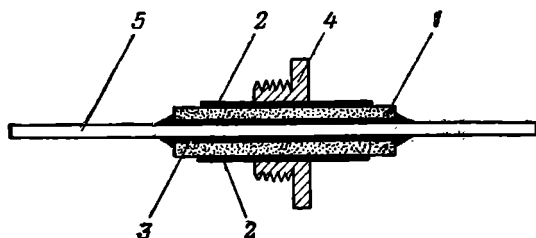


Рис. 11. Керамический трубчатый проходной конденсатор КТП (КТПС):

1 — керамическая трубка; 2 — внешняя обкладка (защитное эмалевое покрытие не показано); 3 — внутренняя обкладка; 4 — металлическая втулка с резьбой; 5 — токопроводящий стержень

(КТПС-1—КТПС-3). Конденсаторы различных видов отличаются номинальной емкостью и габаритами. Конденсаторы КТП различных видов отличаются, кроме того, температурным коэффициентом емкости.

Проходные конденсаторы используются в основном в цепях питания высокочастотных каскадов аппаратуры. При этом конденсатор с помощью упомянутой выше втулки крепится в отверстии металлического экрана (шасси, панели) каскада или блока, в цепи питания которого необходима фильтрация высокочастотной составляющей; втулка обеспечивает надежный контакт внешней обкладки конденсатора с экраном. К одному из концов среднего стержня подводится ток питания, а к другому подключается нагрузка.

Следовательно, проходной конденсатор позволяет пропускать изолированный проводник сквозь металлический экран (шасси, панель), получив при этом определенную емкость по отношению к экрану. В связи с этим проходные конденсаторы называют также «изоляторами-конденса-

торами». Проходные конденсаторы обеспечивают эффективную фильтрацию цепей питания.

Блоки из керамических конденсаторов. Наряду с трубчатыми конденсаторами выпускаются блоки из трех—четырех керамических конденсаторов, соединенных параллельно. На рис. 12 показан блок, составленный из четырех конден-

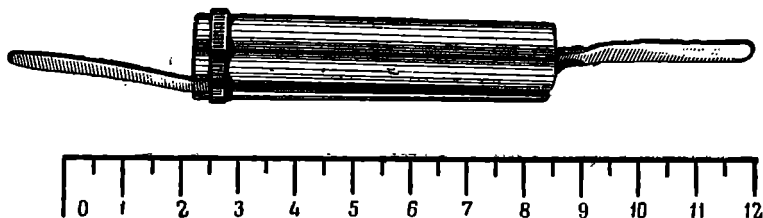


Рис. 12. Блок КТНБ из трубчатых керамических конденсаторов

саторов типа КТН. Таким способом можно получить в одной конструктивной единице большую емкость, чем в одиночном трубчатом керамическом конденсаторе.

Пластиначатые конденсаторы. Пластиначатый (пакетный) конденсатор состоит из набора керамических пластинок круглой, овальной или прямоугольной формы толщиной 0,2—0,3 мм; на каждую из пластинок с двух сторон нанесены обкладки. Изготовление этих пластинок и нанесение на них серебра производится так же, как и в дисковых конденсаторах. Пластины склеиваются между собой, обкладки соединяются через одну; в параллель к ним припаиваются проводочные выводы или ленточные контактные лепестки (рис. 13). Таким

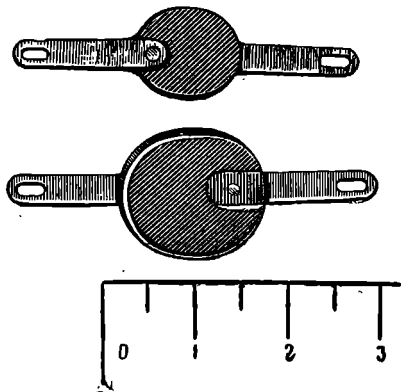


Рис. 13. Пластиначатые керамические конденсаторы

образом получают керамические конденсаторы, обладающие значительной емкостью при относительно небольших габаритах. Выпускаемые отечественной промышленностью конденсаторы КП — Керамические Пластиначатые — из тиконда с высокой диэлектрической проницаемостью применяются в

качестве сеточных, разделительных, блокировочных и фильтровых в высокочастотных схемах, а КПС — Конденсаторы Пластинчатые Сегнетокерамические — в качестве фильтровых и блокировочных в низкочастотных цепях.

Бочоночные конденсаторы. Керамический Высоковольтный Конденсатор Бочоночный КВКБ или КВБ представляет собой керамический цилиндр с углублениями в его основаниях (рис. 14). Одна из обкладок нанесена на дно одного углубления, а другая — на дно другого. Контактные выводы в виде лепестков (у конденсаторов КВКБ) или болтов (у конденсаторов КВБ) припаяны в центрах обкладок и расположены перпендикулярно к последним.

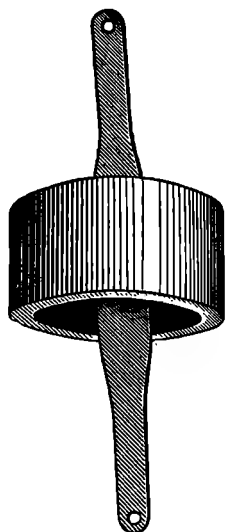


Рис. 14. Бочоночный керамический высоковольтный конденсатор КВКБ

Конденсаторы КВКБ изготавливаются двадцати видов. Диаметр конденсаторов КВКБ-1 — КВКБ-9 и КВКБ-20 около 20 мм при высоте корпуса около 15 мм, а диаметр конденсаторов КВКБ-10 — КВКБ-19 около 35 мм при высоте корпуса 16—25 мм. В качестве диэлектрика в конденсаторах КВКБ используется ультрафарфор или тиконд Т-80.

Конденсаторы КВБ изготавливаются трех видов: КВБ-1 на номинальное рабочее напряжение 15 кВ с номинальной емкостью 500 пФ (высота корпуса 26 мм и диаметр 28 мм) и КВБ-2, КВБ-3 на номинальное рабочее напряжение 10 кВ с номинальными емкостями 1000 и 2000 пФ (высота корпуса 21 мм и диаметр 33 и 51 мм). Предназначаются они для цепей

формирования однополярных видеоимпульсов. Для работы в высокочастотных контурах эти конденсаторы не пригодны. При изготовлении их используется специальный керамический материал на основе двуокиси циркония и окиси висмута (соответствующий классу VIII по ГОСТ 5458—57 на конденсаторные керамические материалы) с диэлектрической проницаемостью около 1000.

Стержневые конденсаторы. Керамический Высоковольтный Стержневой конденсатор КВС по конструкции подобен конденсатору КВБ, но имеет большее отношение высоты керамического цилиндра к его диаметру и выводы в виде контактных лепестков под пайку. Изготавливаются они семи

видов: КВС-1 — КВС-7 (высота корпуса от 17 до 44,5 мм при диаметре от 8,5 до 19,5 мм). Применяемый керамический материал, назначение и теплоустойчивость конденсаторов КВС такие же, как у конденсаторов КВБ.

Кольцевой Высоковольтный Керамический конденсатор КВК служит для заземления по высокой частоте сетки в импульсном генераторе метрового диапазона волн с лампой ГУ-4А, а конденсатор КВЦ является анодно-разделительным для импульсного генератора метрового и дециметрового диапазонов волн с колебательным контуром в виде коаксиальной линии или с полым резонатором, в котором работает металлокерамическая лампа ГИ-14Б с кольцевыми выводами.

Горшковые конденсаторы. Конденсатор Высоковольтный Керамический Горшковый типа КВКГ представляет собой керамический «горшок» — цилиндр, имеющий одно дно в виде полусферы (рис. 15). У открытой стороны цилиндра имеется керамический обод, препятствующий электрическому перекрытию между обкладками, нанесенными на внешнюю и внутреннюю поверхности горшка. Цилиндр и обод на нем отливаются из сырой керамической массы в гипсовой форме, а затем обжигаются.

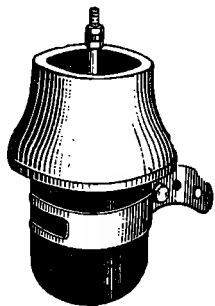


Рис. 15. Горшковый высоковольтный конденсатор КВКГ

Вывод от внутренней обкладки выполнен в виде болта с гайкой, расположенного по оси конденсатора, а вывод от внешней обкладки — в виде хомута, охватывающего эту обкладку. Крепление конденсатора осуществляется с помощью лапок этого хомута.

Конденсаторы КВКГ изготавливаются двенадцати видов. Керамический корпус имеет диаметр от 35 до 65 мм и высоту от 60 до 135 мм. В качестве диэлектрика используется ультрафарфор или тиконд Т-80.

Горшковые конденсаторы КВКГ, так же как бочоночные КВКБ и трубчатые КВКТ, применяются в высокочастотных контурах, анодных, сеточных и фидерных цепях передающих устройств с высокими напряжениями.

Подстроечные конденсаторы. Среди керамических конденсаторов особое место занимают так называемые подстроечные, используемые главным образом для подгонки параметров колебательных контуров. Наиболее распростра-

нены из них конденсаторы КПК (Конденсатор Подстроечный Керамический); они состоят из двух керамических частей: статора — неподвижного основания и ротора — подвижного диска (рис. 16). Ротор крепится к основанию на оси и может поворачиваться на ней с помощью отвертки. При этом одна из плоскостей ротора плотно прилегает к поверхности статора, что обеспечивается тщательной оптической шлифовкой этих поверхностей.

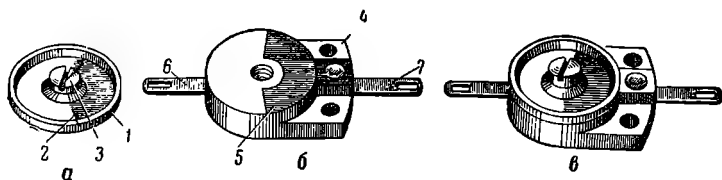


Рис. 16. Подстроечный керамический конденсатор КПК-1:

а — ротор; *б* — статор; *в* — конденсатор в сборе; 1 — керамика с большим ϵ ; 2 — подвижная обкладка; 3 — головка оси со шлицем для вращения ротора; 4 — керамика с малым ϵ ; 5 — неподвижная обкладка; 6 — вывод обкладки ротора; 7 — вывод обкладки статора

Одна из обкладок конденсатора нанесена методом вжигания серебра на упомянутую поверхность статора, а другая — тем же способом на поверхность ротора, противоположную шлифованной. Обе обкладки имеют форму секторов. Диэлектриком между ними служит материал ротора. Выводы от обкладок выполнены в виде контактных лепестков, приспособленных для припайки к ним внешних проводников.

Вращая ротор, можно изменять взаимное положение секторных обкладок на нем и на статоре, а следовательно, и емкость между ними.

Минимальная и максимальная емкости подстроечного конденсатора зависят от толщины и диаметра его ротора, а также от материала, из которого он изготовлен. От свойств последнего зависит также ТКЕ конденсатора. Конденсаторы КПК-1 имеют роторы диаметром около 18 мм и выпускаются с пределами изменения емкости 2—7; 4—15; 6—25 и 8—30 пф. Конденсаторы КПК-2 и КПК-3 имеют роторы диаметром около 33 мм и соответственно большие пределы изменения емкости: 6—60; 10—100 и 25—150 пф. Конденсаторы КПК-5 также имеют роторы диаметром около 33 мм и пределы изменения емкости 25—150 и 25—175 пф.

Роторы всех этих конденсаторов изготовлены из тиконда с высокой диэлектрической проницаемостью, в связи с чем

ТКЕ конденсаторов имеет отрицательное значение: для КПК-1 — КПК-3 минус $(200—750) \cdot 10^{-6}$; для КПК-5 минус $(300—900) \cdot 10^{-6}$. Большой разброс ТКЕ определяется главным образом тем, что на его значение сильно влияет воздушный зазор между статором и ротором, величина которого все же не может быть постоянной даже при самой тщательной оптической шлифовке их поверхностей.

Статоры конденсаторов КПК изготавливаются из материала с малой диэлектрической проницаемостью (например, ультрафарфора или радиостеатита). Это вызывается стремлением свести к возможному минимуму влияние емкости неподвижной обкладки (по отношению к металлическим частям аппаратуры) на общую емкость конденсатора.

В технической документации номинальные минимальная и максимальная емкости подстроечных конденсаторов записываются через дробную черту. Так, например, конденсатор КПК-1 с пределами изменения емкости 6—25 *пф* обозначается: КПК-1/6/25.

Технические условия на конденсаторы КПК допускают, что фактическое значение минимальной емкости может быть неограниченно меньше, а фактическое значение максимальной емкости — неограниченно больше их номинальных значений.

Следует отметить, что емкости конденсаторов КПК недостаточно стабильны во времени главным образом из-за микроскопических изменений воздушного зазора между статором и ротором. Этот зазор делает их также невлагодостойкими. Указанные недостатки можно в некоторой степени устранить, покрыв конденсаторы влагодостойким лаком после того, как закончена регулировка аппаратуры.

«Мерцание» емкости. У керамических низковольтных конденсаторов наблюдается так называемое явление «мерцания» или скачкообразные изменения емкости. Эти изменения очень невелики (тысячные доли пикофарады) и происходят по времени и по величине хаотично, поэтому не могут быть обнаружены с помощью обычных приборов для измерения емкости. «Мерцание» емкости керамических конденсаторов может быть выявлено, когда они работают в колебательных контурах генераторов высокой частоты (гетеродинов), по хаотическому изменению генерируемой ими частоты около ее среднего значения. Эти изменения порядка 10—100 *гц*, иногда и больше. Проявляются они обычно как шумы на выходе устройства, в котором работает генератор с «мерцающим» конденсатором.

Вызывается «мерцание» емкости керамических конденсаторов дефектами их обкладок, т. е. неравномерным покрытием керамики серебром, главным образом наличием у краев обкладок отдельных участков серебра, не имеющих надежного контакта с остальной поверхностью обкладок. При подаче на конденсатор переменного напряжения происходят беспорядочные изменения сопротивлений этих контактов, упомянутые участки как бы беспорядочно подключаются и отключаются от обкладок. Вследствие этого действующие площади обкладок, а следовательно, и емкость конденсатора хаотически изменяются. Чем больше напряжение на конденсаторе, тем сильнее сказывается явление «мерцания» его емкости. С повышением влажности интенсивность «мерцания» емкости также увеличивается. У конденсаторов с диэлектриком, имеющим большую диэлектрическую проницаемость (например, с тикондом), «мерцание» емкости наблюдается чаще, чем у конденсаторов с диэлектриком, обладающим меньшей диэлектрической проницаемостью (с термокондом ТК-20 или с ультрафарфором). При этом у конденсаторов КТК «мерцание» емкости более заметно, чем у конденсаторов КДК.

Интенсивность «мерцания» емкости в основном зависит от качества нанесения серебра на поверхность керамики. Чем большее число раз наносится и вжигается серебро, тем «мерцание» обычно меньше. Так у конденсаторов КТН, имеющих обкладки из весьма плотного и однородного слоя серебра и пониженный градиент напряжения (по сравнению с конденсаторами КТК), при напряжении меньше 100 в «мерцание» их емкости практически не наблюдается.

4. Стеклоэмалевые и стеклокерамические конденсаторы

Стеклоэмалями называют полупрозрачные неорганические стекла, обладающие относительно низкими температурами плавления. Для получения конденсаторов с различными температурными коэффициентами в стеклоэмаль вносят различные добавки (кристаллический рутил, перовскит).

Стеклоэмалевый конденсатор представляет собой параллелепипед, образованный из слоев указанного диэлектрика, чередующихся с обкладками в виде тонких слоев серебра. Все эти слои спечены между собой при высокой температуре. Четные и нечетные обкладки соединены порознь в параллель на противоположных торцах конденсатора. Представителями стеклоэмалевых конденсаторов являются кон-

денсаторы КС (рис. 17). Они выпускаются трех видов, отличающихся друг от друга габаритными размерами и номинальными емкостями: КС-1 — длиной 15 мм и шириной 8 мм, КС-2 — длиной 19 мм и шириной 12 мм, КС-3 — длиной 20 мм и шириной 15 мм. Толщина конденсаторов всех этих видов не более 6 мм. Конденсаторы КС выпускаются в двух вариантах: с проволочными выводами и без них. Конденсаторы последнего конструктивного варианта предназначаются для использования в печатных схемах и малогабаритной аппаратуре. При этом внешние проводники припаиваются непосредственно к металлизированным торцам конденсаторов.

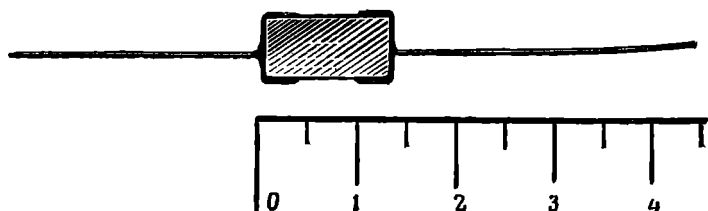


Рис. 17. Стеклоэмалевый конденсатор КС

Конденсаторы КС выпускаются со следующими температурными коэффициентами: $+ (30-100) \cdot 10^{-6}$ — группа Р; $\pm 30 \cdot 10^{-6}$ — группа О; $- (20-80) \cdot 10^{-6}$ — группа М; $- (120-180) \cdot 10^{-6}$ — группа П. Указанные ТКЕ обеспечиваются при 20—100° С.

Основные технические характеристики конденсаторов КС приведены в табл. 5.

Стеклокерамические конденсаторы имеют конструкцию, аналогичную стеклоэмалевым конденсаторам, отличаясь от них лишь составом диэлектрика.

5. Слюдавые конденсаторы

Слюдавый диэлектрик. Слюда — это минерал. В качестве конденсаторного диэлектрика применяется калийная слюда «Мусковит». Это название происходит от слова «Муска» — старинного итальянского названия Москвы (Московское государство экспортировало слюду в качестве материала для окон). Мусковит представляет собой водный алюмосиликат калия ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$) с при-

месяцами соединений натрия, магния, кальция, фтора, окиси и закиси железа.

Советский Союз занимает первое место в мире по природным запасам слюды.

Из добытой горной породы получается очень небольшой процент годной для конденсаторов слюды. Слюда расщепляют на тонкие слои и вырубают из нее прямоугольные пластинки, которые используют для сборки конденсаторов.

Следует отметить, что слюда неоднородна по своей структуре. В пластинках встречаются трещины, царапины, расщепленные места, посторонние частицы (так называемые механические включения), возможны отдельные участки уменьшенной толщины. Даже при тщательной отбраковке дефектных пластинок слюды перед сборкой конденсаторов (по внешнему виду и по электрической прочности) все же не исключается возможность попадания таких пластинок в готовые конденсаторы.

При недостаточно жесткой технологической дисциплине на заводе-изготовителе конденсаторов эта вероятность увеличивается. Дефекты слюды зачастую не проявляют себя сразу и только через некоторое время эксплуатации конденсаторы с дефектными слюдяными пластинками пробиваются или снижают сопротивление изоляции.

В некоторых слюдяных конденсаторах наблюдается так называемый самовосстанавливающийся пробой: при подаче напряжения на конденсатор через проводящую частицу в слюдяной пластинке проходит ток, от действия которого она как бы выгорает (выплавляется) и работоспособность конденсатора восстанавливается. Однако после этого сопротивление изоляции между обкладками конденсатора обычно снижается.

Иногда же самовосстановившийся конденсатор работает нормально довольно длительное время и только после этого происходит снижение сопротивления изоляции между его обкладками или даже полный пробой конденсатора через дефектное место его диэлектрика.

Следовательно, слюдяные конденсаторы нельзя считать достаточно надежными в эксплуатации. Они постепенно вытесняются в схемах радиотехнической аппаратуры керамическими, стеклоэмалевыми и пленочными конденсаторами.

Обкладки. По конструкции обкладок слюдяные конденсаторы делятся на фольговые и стабильные.

Обкладки фольговых конденсаторов образуют листочки свинцово-оловянной, алюминиевой или красномедной

фольги, между которыми проложены пластинки слюды (рис. 18, а). Концы листочков фольги выступают за края слюдяных пластинок поочередно в одну и другую стороны. Вся пачка из фольговых листочков и слюдяных пластинок скрепляется двумя металлическими обоймами (рис. 18, в).

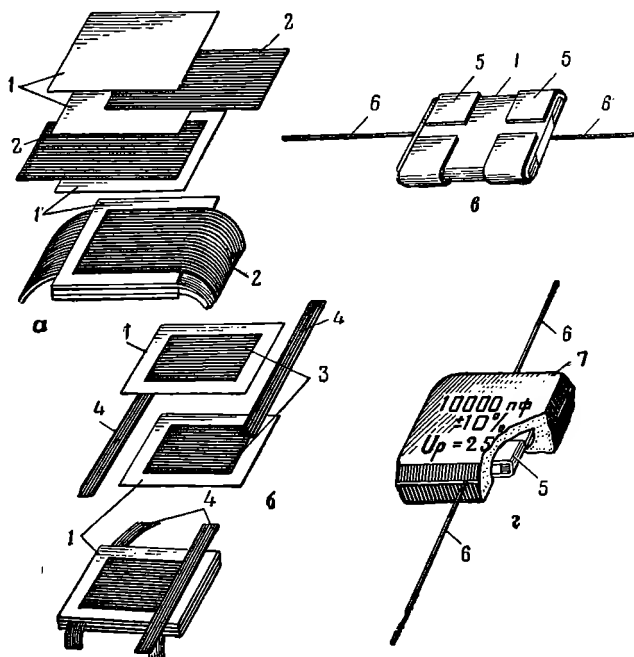


Рис. 18. Устройство слюдяного конденсатора:

а — слюдяные пластинки и обкладки фольгового конденсатора;
 б — слюдяные пластинки с нанесенными на них серебряными обкладками; в — собранный пакет с обоймами; 1 — опрессованный пластмассой конденсатор КСО-5; 1 — слюда; 2 — обкладки из фольги; 3 — обкладки из серебра; 4 — контактные полоски из фольги; 5 — латунные обжимки; 6 — проволоочные выводы; 7 — пластмасса

Загнутые под обоймы концы фольговых листочков оказываются надежно соединенными между собой и с обоймами. Обоймы в большинстве случаев снабжаются кусками медной серебряной проволоки, которые служат выводами обкладок конденсатора.

Емкость таких конденсаторов сильно зависит от окружающей температуры и может изменяться с течением времени на относительно большую величину. Температурные коэффициенты емкости различных образцов таких конден-

саторов могут значительно отличаться друг от друга и изменяться во времени. Поэтому слюдяные конденсаторы с фольговыми обкладками применяются только в тех цепях схем, где стабильность емкости не имеет большого значения.

Стабильный конденсатор состоит из пачки слюдяных пластинок, на каждую из которых с обеих сторон нанесены обкладки из слоев серебра толщиной меньше 1 μ (рис. 18, б). Серебро наносят методом вжигания, как и обкладки керамических конденсаторов, или вакуумным методом. Последний заключается в следующем: слюдяные пластинки помещают в герметически закрытую камеру и создают в ней большое разрежение воздуха. После этого в камере нагревают до испарения металлическое серебро. Пары серебра осаждаются на поверхности слюды и быстро отвердевают, образуя металлический слой. При обоих методах края слюдяных пластинок закрывают «масками», вследствие чего серебряный слой не доходит до краев пластинок.

Выводы от обкладок стабильных слюдяных конденсаторов делают в виде полосок из красномедной или свинцово-оловянной фольги, которые загибают под металлические обоймы, скрепляющие слюдяные пластинки.

Емкость таких конденсаторов значительно стабильнее из-за отсутствия воздушных зазоров между обкладками и диэлектриком. Конденсаторы с серебряными обкладками разделяются по величине ТКЕ на три группы: Б, В и Г (табл. 7). К группе А относятся конденсаторы с фольговыми обкладками.

Чем выше рабочее напряжение конденсатора, тем больше толщина используемых в нем слюдяных пластинок.

Отечественная радиопромышленность выпускает в массовых количествах слюдяные конденсаторы трех типов (табл. 8), отличающихся внешним конструктивным оформлением:

КСО — Конденсатор Слюдяной Опрессованный пластмассой.

СГМ — Слюдяной Герметизированный Малогабаритный.

КСГ — Конденсатор Слюдяной Герметизированный.

Холодоустойчивость слюдяных конденсаторов всех этих типов минус 60° С. Слюдяные конденсаторы с рабочим напряжением постоянного тока до 500 в включительно могут работать без снижения напряжения при разрежении атмосферы до 5 мм рт. ст. Герметизированные конденсаторы СГМ

и КСГ на более высокие рабочие напряжения работоспособны без снижения напряжения при разрежении атмосферы до 40 мм рт. ст., а опрессованные конденсаторы КСО — до 90 мм рт. ст.

Тангенс угла потерь большинства этих конденсаторов в нормальных условиях 0,0003—0,001 (для конденсаторов КСО емкостью 47—150 пф по техническим условиям допускается $\operatorname{tg} \delta \leq 0,0015$). При наибольшей рабочей температуре допускается увеличение $\operatorname{tg} \delta$ на 50% по сравнению с его величиной в нормальных условиях (для конденсаторов КСГ на 100%). Для слюдяных конденсаторов емкостью до 1000 пф $\operatorname{tg} \delta$ измеряют на частотах 0,8—1,2 Мгц, а для таких же конденсаторов с большими емкостями — на частотах 100—500 кгц. Испытательное напряжение всех этих конденсаторов вдвое больше рабочего.

Заметим, что когда слюдяные конденсаторы с серебряными обкладками работают под значительным напряжением высокой частоты, иногда приходится считаться с наличием у них «мерцания» емкости, природа которого такая же, как и у керамических конденсаторов.

Конденсаторы КСО. Для опрессовки конденсаторов КСО используется пресспорошок с минеральным наполнителем (мелко размолотым кварцем), вносящий небольшие потери на высоких частотах. Для повышения влагоустойчивости конденсаторы после опрессовки пропитываются церезином*.

Конденсаторы КСО делятся на семь видов: КСО-1, КСО-2, КСО-5, КСО-6, КСО-7, КСО-8 и КСО-10**.

Конденсаторы КСО-1 (рис. 19, а), КСО-2 (рис. 19, б) и КСО-5 (рис. 18, г и 19, в) имеют проволочные выводы, с помощью которых конденсаторы крепятся в аппаратуре.

Конденсатор КСО-6 (рис. 20, а) имеет выводы в виде латунных лепестков, которые служат также для крепления конденсаторов в аппаратуре. Если конденсаторы КСО-1,

* Церезин — желтое воскообразное неполярное вещество, получаемое из озокерита (горного воска). Озокерит представляет собой продукт естественного перерождения парафинистой нефти без доступа воздуха.

** До 1954 года некоторые номиналы конденсаторов КСО-1, КСО-2 и КСО-5 выпускались в тех же габаритах под названием СОМ-1, СОМ-2 и СОМ-3 соответственно. Название СОМ расшифровывается так: Слюдяной Опрессованный пластмассой Малогабаритный конденсатор. До 1950 года выпускались также конденсаторы КСО-3 и КСО-4, имеющие такую же конструкцию, как конденсаторы КСО-2, но больших габаритов.

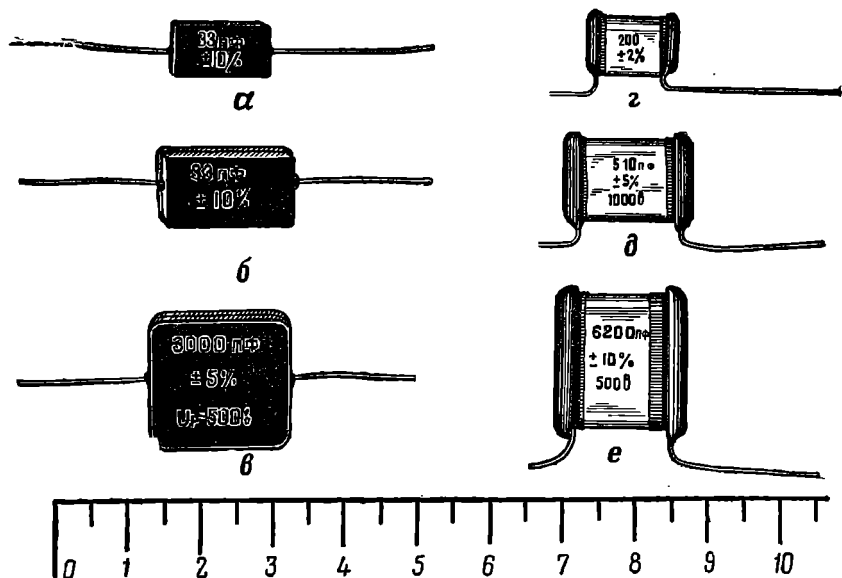


Рис. 19. Слюдяные конденсаторы:
 а — КСО-1; б — КСО-2; в — КСО-5; г — СГМ-1; д — СГМ-3; е — СГМ-4

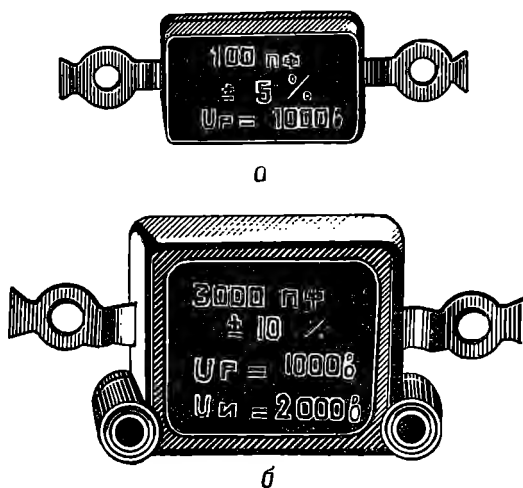


Рис. 20. Слюдяные опрессованные конденсаторы:
 а — КСО-6; б — КСО-7 (КСО-8)

КСО-2, КСО-5 и КСО-6 должны работать в условиях сильных механических вибраций, крепление только за выводы недостаточно надежно, поэтому их необходимо дополнительно крепить за корпус (например, хомутами).

Конденсаторы КСО-7 и КСО-8 также имеют выводы в виде лепестков, но в их корпусах есть отверстия (рис. 20, б), через которые пропускают болтики для крепления этих конденсаторов на монтажных панелях.

Конденсатор КСО-10 имеет выводы в виде металлических пистонов (рис. 21). Через отверстия пистонов при монтаже пропускают болтики для крепления конденсатора и для электрического соединения его обкладок с цепями схемы.

Следует отметить, что пропитанная церезином пластмасса ненадежно защищает от влаги слюдяные пакеты и обкладки конденсатора КСО. Поэтому при длительном пребывании этих конденсаторов в атмосфере с высокой влажностью их сопротивление изоляции сильно снижается, а тангенс угла потерь увеличивается. Практически конденсаторы КСО должны применяться только в герметизированных блоках аппаратуры.

Конденсаторы СГМ. Эти конденсаторы выпускаются четырех видов: от СГМ-1 до СГМ-4. Все они имеют одинаковую конструкцию, differing только габаритами (рис. 19, г, д, е). В конденсаторе СГМ пакет слюдяных пластинок с нанесенными на них серебряными обкладками заключен в плоскую керамическую глазурованную снаружи трубку, торцы которой герметизированы металлическими колпачками. Обкладки соединены с этими колпачками. Ленточные выводы, представляющие собой одно целое с колпачками, служат для включения конденсатора в схему и для закрепления его в аппаратуре (если конденсатор СГМ подвергается действию сильных вибраций, необходимо его дополнительно крепить за корпус).

Конденсаторы КСГ. В конденсаторе КСГ пакет слюдяных пластинок с нанесенными на них серебряными обкладками заключен в прямоугольный герметический металлический корпус. Проволочные выводы, припаянные к обоямам, стягивающие пакеты слюды, выходят сквозь изоляторы на-

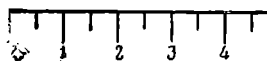
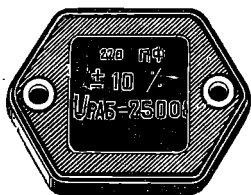


Рис. 21. Слюдяной опрессованный конденсатор КСО-10

ружу и здесь припаиваются к металлическим контактным лепесткам, укрепленным на изоляторах.

Конденсаторы КСГ выпускаются двух видов: КСГ-1 (рис. 22) с керамическими выводными изоляторами (рис. 24, а), укрепленными на двух противоположных стенках корпусов, и КСГ-2 (рис. 23) — со стеклянными (рис. 24, б) или керамическими изоляторами, укрепленными рядом на верхней крышке корпуса.

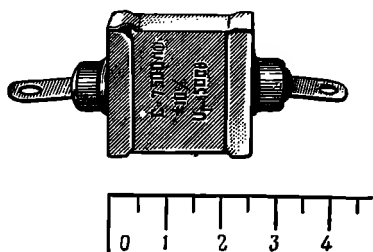


Рис. 22. Слюдяной герметизированный конденсатор КСГ-1

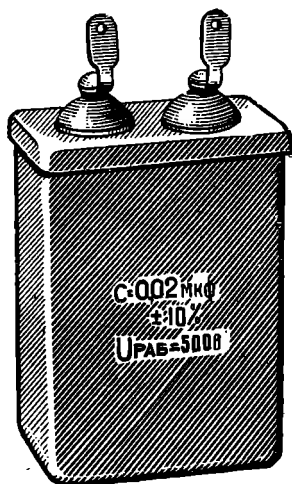


Рис. 23. Слюдяной герметизированный конденсатор КСГ-2

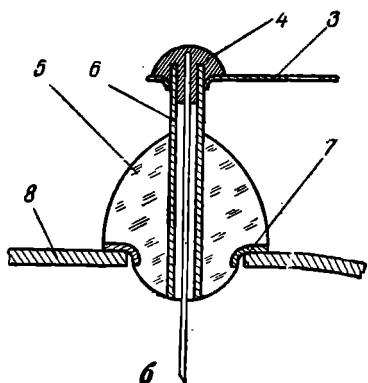
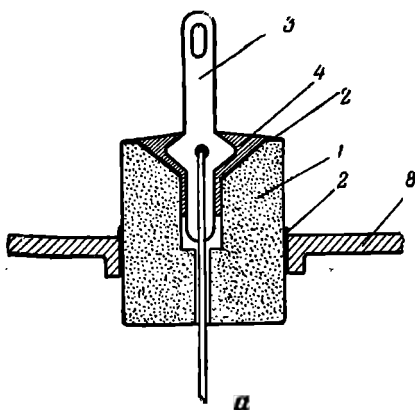


Рис. 24. Выводные изоляторы герметизированных конденсаторов:

а — керамический; б — стеклянный; 1 — керамический корпус; 2 — серебрение (место пайки к корпусу конденсатора); 3 — выводной лепесток; 4 — припой; 5 — стекло; 6 — трубка для выводного лепестка; 7 — шайба для припайки изолятора к корпусу конденсатора; 8 — корпус конденсатора

6. Бумажные конденсаторы

Диэлектрик и обкладки. Обкладками бумажных конденсаторов служат ленты из фольги толщиной 7—8 μ (обычно алюминиевой, в конденсаторах небольшой емкости иногда красномедной), а диэлектриком — ленты из специальной конденсаторной бумаги. Для изготовления фольги используется целлюлоза, получаемая из древесины хвойных пород и содержащая до 90—95% клетчатки*.

В низковольтных конденсаторах бумага пропитывается, как правило, вазелином с высокой степенью очистки, а в высоковольтных — конденсаторным маслом. Оба эти вещества, являясь продуктом перегонки нефти, неполярны.

Для увеличения диэлектрической проницаемости диэлектрика с целью уменьшения объема конденсатора примерно на 30% применялась также пропитка бумаги полярными синтетическими веществами, в частности соволом. Совол представляет собой негорючую бесцветную прозрачную вязкую жидкость, получаемую хлорированием ароматического углеводорода — дифенила (дифенил получают из бензола — продукта переработки каменноугольной смолы). Однако при постоянном напряжении на конденсаторе совол разлагается с выделением хлористого водорода, что снижает срок службы конденсатора. Поэтому совол для пропитки бумаги в последнее время не применяется.

Иностранные фирмы продолжают применять для пропитки конденсаторной бумаги различные синтетические жидкие полярные вещества, в частности, так называемый витамин Q (низкомолекулярный полиизобутилен). Конденсаторы с такой пропиткой, по имеющимся данным, могут работать в условиях температур до 125° С, имеют более высокое сопротивление изоляции и изменяют емкость при изменениях температуры в меньших пределах, чем конденсаторы, в которых используются пропитки всех других видов.

Секции конденсаторов. Чередующиеся фольговые и бумажные ленты свертывают в рулон, называемый конденсаторной секцией (рис. 25).

Чем выше рабочее напряжение конденсатора, тем больше толщина применяемой в нем бумаги и тем больше число ее слоев между фольговыми обкладками. Так, например, диэлектрик конденсатора БГМ на рабочее напряжение 400 в состоит из трех слоев бумаги толщиной 6—10 μ , ди-

* Клетчатка представляет собой полимерный углевод ($C_6H_{10}O_5$)_n.

электрик конденсатора КБГ на 600 в — из трех слоев бумаги толщиной 10 μ , а диэлектрик конденсаторов КБГ на 1000 и 1500 в — соответственно из четырех или пяти слоев бумаги такой же толщины. При этом число слоев диэлектрика в бумажных конденсаторах никогда не бывает меньше двух. Например, в конденсаторах КБГ на рабочее напряжение 200 в применяется два слоя бумаги толщиной 8 μ , а в конденсаторах БМ на рабочее напряжение 150 в — два слоя бумаги толщиной 5 μ . Нельзя использовать однослойный

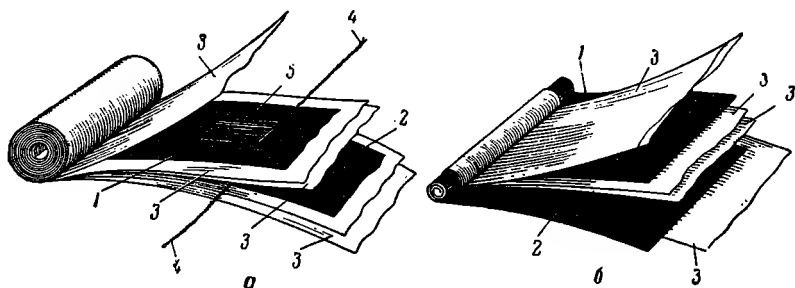


Рис. 25. Цилиндрические секции бумажных конденсаторов:

а — с проволочными выводами; *б* — с фольговыми выводами; 1 — первая обкладка из фольги; 2 — вторая обкладка из фольги; 3 — конденсаторная бумага; 4 — проволочный вывод; 5 — контактный «флажок» из фольги

бумажный диэлектрик (например, один слой бумаги толщиной 10 μ в конденсаторах на рабочее напряжение 150 в), так как в составе бумаги всегда есть некоторое количество электропроводящих частиц (угля, металла и т. п.), попадающих в бумажную массу в процессе производства бумаги. Кроме того, в бумаге возможны места с пониженной толщиной и мелкие сквозные отверстия. Если изготовить конденсатор с одним слоем бумаги, весьма вероятны короткие замыкания между обкладками через эти дефектные места, т. е. практически все конденсаторы будут непригодны к работе.

При использовании двух или большего числа слоев конденсаторной бумаги вероятность совпадения дефектных мест различных слоев невелика и надежность работы конденсатора значительно выше. Бумажные конденсаторы, в которых все же получились совпадения дефектных мест слоев диэлектрика, отбраковываются (пробиваются) на заводе-изготовителе при проверке их испытательным напряжением.

Выводы. Выводы от обкладок в большинстве бумажных конденсаторов сделаны из тонкой медной луженой или посеребренной проволоки. Чтобы получить хороший электрический контакт между фольгой и проволокой и чтобы проволока не могла повредить бумагу, входящий в рулон конец проволоки сплющивают (в малогабаритных конденсаторах) или делают на этом конце «флажок» из фольги (рис. 25, а). Другой конец проволоки, выступающий из фольги, припаивают к выводным контактным лепесткам конденсатора. В конденсаторах некоторых типов выводные проводники припаивают и к обкладкам. Выводы делают примерно от среднего витка каждой обкладки. При этом токи в их внутренних и наружных витках направлены навстречу друг другу, вследствие чего собственная индуктивность конденсатора получается небольшой. С целью дальнейшего уменьшения индуктивности иногда делают от каждой обкладки по два вывода или больше, соединяя их внешние концы параллельно.

Если секция предназначена для конденсатора, корпус которого имеет плоскую форму, для лучшего использования внутреннего объема корпуса секцию обычно делают плоской формы. Бумажные конденсаторы емкостью в несколько микрофарад обычно составляют из нескольких плоских секций, соединяя их между собой параллельно.

В так называемых проходных бумажных конденсаторах, которые должны иметь очень малую собственную индуктивность, а также в обычных бумажных конденсаторах малой емкости (порядка нескольких сотен или тысяч $n\phi$) выводы от обкладок образуются краями самих обкладок. Для этого намотку цилиндрической конденсаторной секции производят так, что одна фольговая лента выступает за края бумажных лент в одну сторону, а другая фольговая лента — в другую сторону (рис. 25, б). Все выступающие слои фольговых лент с каждой стороны спаивают вместе. При этом индуктивность конденсатора получается очень малой потому, что ток входит в каждый слой обкладки — ему не нужно идти по спирали, как в конденсаторе с проволочными выводами.

При длительном хранении конденсаторов с вкладными выводами в виде флажков или расплюснутых проволочек поверхность обкладок и флажков покрывается тонким слоем окисла металла, обладающим свойством непроводника (точнее полупроводника). Вследствие этого электрический контакт между обкладками и выводами может нарушиться.

Если подать на такой конденсатор достаточно большое напряжение, то в момент его включения слои окисла пробиваются, контакты между выводами и обкладками восстанавливаются и конденсатор работает нормально. Однако при подаче на конденсатор очень малого напряжения (меньше 1 в или даже порядка нескольких вольт) оно не может пробить слои окисла, поэтому конденсатор не заряжается, а если он включен в цепь переменного тока, то создает в этой цепи обрыв (переменный ток через такой конденсатор не проходит).

Если конденсатор состоит из нескольких параллельно соединенных секций, то при отключении (из-за окисления) одной или нескольких секций емкость конденсатора уменьшается; при увеличении напряжения слой окисла пробивается и параметры конденсатора восстанавливаются.

По указанной причине конденсаторы с вкладными выводами не рекомендуется применять в цепях с очень низким напряжением. В таких цепях следует использовать только конденсаторы, в которых выводы припаяны или приварены к обкладкам, тогда они нормально работают и при очень малых напряжениях.

Типы низковольтных бумажных конденсаторов. Из числа отечественных низковольтных бумажных конденсаторов в радиотехнической аппаратуре наиболее распространены следующие:

БМ — Бумажный Малогабаритный конденсатор в цилиндрическом корпусе.

БГМ — Бумажный Герметизированный Малогабаритный конденсатор в цилиндрическом корпусе.

БГМТ — Бумажный Герметизированный Малогабаритный Термостойкий конденсатор.

КБГ-М — Конденсатор Бумажный Герметизированный в Металлическом цилиндрическом корпусе.

КБГ-И — Конденсатор Бумажный Герметизированный в цилиндрическом корпусе из Изоляционного материала.

КБГ-МП — Конденсатор Бумажный Герметизированный в Металлическом Плоском корпусе.

КБГ-МН — Конденсатор Бумажный Герметизированный в Металлическом Нормальном (прямоугольном) корпусе.

КБМ — Конденсатор БумагоМасляный.

БГТ — Бумажный Герметизированный Теплоустойчивый конденсатор (в металлическом прямоугольном корпусе).

КБП — Конденсатор Бумажный Проходной (в металлическом цилиндрическом корпусе).

Холодоустойчивость бумажных конденсаторов всех перечисленных типов — минус 60°C . Все они работоспособны в атмосфере с относительной влажностью до 98%. Бумажные конденсаторы с номинальным рабочим напряжением постоянного тока до 400 в включительно могут работать без снижения напряжения при разрежении атмосферы до 5 мм рт. ст., а конденсаторы с номинальным рабочим напряжением постоянного тока 600 в и выше — только до 40 мм рт. ст. Исключение составляют следующие конденсаторы:

— БГМ с номинальным рабочим напряжением постоянного тока 400 в, которые допустимо использовать без снижения напряжения при атмосферном давлении не ниже 40 мм рт. ст.;

— БГМТ с таким же номинальным рабочим напряжением, которые можно использовать без снижения напряжения при атмосферном давлении не ниже 19 мм рт. ст.;

— КБМ с номинальным рабочим напряжением постоянного тока 250—1500 в, которые допустимо использовать без снижения напряжения только при атмосферном давлении не ниже 100 мм рт. ст.

Конденсаторы БМ и КБП выпускаются по классам точности II и III, КБМ — по классу III, а конденсаторы остальных перечисленных выше типов — с допусками по классам точности I, II и III. При -60°C емкость конденсаторов отличается не более чем на $\pm 10\%$ от емкости, измеренной в нормальных условиях (для конденсаторов БМ-Т2С и КБП по техническим условиям допускается изменение емкости до $\pm 15\%$).

Тангенс угла потерь бумажных конденсаторов на частотах 1000 гц не более 0,01; для конденсаторов БМ-Т2С и КБМ по техническим условиям $\text{tg}\delta$ допускается до 0,015.

Остальные важнейшие характеристики бумажных низковольтных конденсаторов приведены в табл. 9. При работе бумажных конденсаторов в цепях пульсирующего тока амплитудное значение переменной составляющей напряжения не должно превышать величин, указанных в табл. 10.

В радиотехнической аппаратуре старых образцов встречаются конденсаторы МКВ. Они выполнены в прямоугольных корпусах со стеклянными или пластмассовыми изоляторами. В отличие от всех других упомянутых выше конденсаторов в конденсаторах МКВ бумага пропитана церезином или парафином.

Конденсаторы в цилиндрических корпусах. Каждый из конденсаторов БМ, БГМ, КБГ-М содержит по одной цилиндрической секции, заключенной в трубчатый металлический корпус цилиндрического сечения. Корпус конденсатора БМ (рис. 26) изготовлен из алюминия, торцы его залиты эпоксидным компаундом, обеспечивающим защиту секции от проникновения влаги из окружающей атмосферы*. Проволочные выводы от обкладок выходят наружу через компаунд. Конденсаторы БМ емкостью до 9100 *пф* имеют корпус

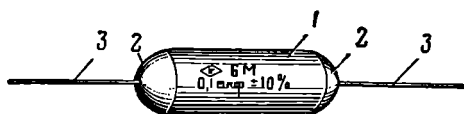


Рис. 26. Бумажный цилиндрический малогабаритный конденсатор БМ:

1 — алюминиевый корпус; 2 — заливка эпоксидным компаундом; 3 — проволочные выводы

длиной 11 мм при диаметре не более 5 мм, а такие же конденсаторы большей емкости имеют корпус длиной 14,5 мм при диаметре не более 7,5 мм.

Конденсаторы БГМ выпускаются двух видов: БГМ-1 и БГМ-2 (рис. 27, а и б). Одна из обкладок конденсатора БГМ-1 соединена с корпусом, а другая имеет изолированный от корпуса проволочный вывод. У конденсатора БГМ-2 оба вывода изолированы от корпуса. Конденсаторы БГМ (обоих видов) емкостью до 10 000 *пф* имеют корпус длиной 18 мм при диаметре 6 мм; их изолированные выводы выходят из корпуса через стеклянные изоляторы, впаянные в торцы корпуса. Конденсаторы БГМ большей емкости при той же длине имеют диаметр корпуса 11 мм; изолированные от корпуса выводные проводники выходят через отверстия плоских цилиндрических керамических изоляторов, впаянных в торцы трубчатого корпуса. Для спая керамики

* Эпоксидные смолы — это новые синтетические электроизоляционные материалы, получаемые путем конденсации диоксидефинилпропана и эпихлоргидрина. В компаунды на основе эпоксисмол, кроме них, входит отвердитель — гексаметилендиамин и различные пластификаторы. Эти компаунды обладают высокими влагозащитными свойствами, высокой адгезией к металлу, керамике и другим веществам, дают малую усадку при затвердевании и быстро полимеризируются. Температура их размягчения около 120° С.

с металлом по периферии изолятора предварительно наносится методом вжигания слой серебра. У отверстия изолятора, в которое впаивается выводной проводник, тоже наносится слой серебра. У конденсатора БГМ-1 один из выводов приварен непосредственно к металлическому корпусу в центре его торца.

Конденсаторы БГМТ также имеют трубчатый цилиндрический корпус, но торцы корпуса герметизированы не стеклянными или керамическими изоляторами, а теплостойкой

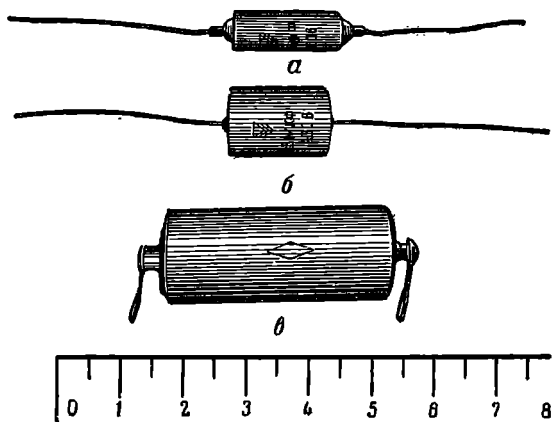


Рис. 27. Бумажные цилиндрические конденсаторы:
 а — БГМ емкостью до 10000 пф; б — БГМ емкостью от 0,033 мкф и больше; в — БМ-Т2С емкостью 0,125 мкф

резиной, сквозь которую выходят наружу проволочные выводы. При номинальных емкостях 470 пф—0,01 мкф корпус этих конденсаторов имеет диаметр около 6 мм и длину около 22 мм. Конденсаторы с большими емкостями (0,015—0,25 мкф) оформлены в корпусах диаметром 12—16 мм и длиной 22—43 мм.

Конденсатор БМ-Т2С (400 в; 0,125 мкф) по конструкции подобен конденсатору БГМ-2 с керамическими изоляторами, но для включения в схему у него имеются контактные лепестки (рис. 27, в). Диаметр его корпуса 15 мм и длина 37 мм. Корпус изготовлен из антимагнитного материала (латунь).

Конденсаторы КБГ-М1 и КБГ-М2 (рис. 28) имеют такую конструкцию, как малоемкостные конденсаторы БГМ-1

и БГМ-2, но размеры их больше. Корпус конденсатора КБГ-М имеет диаметр 10 мм при длине 38 мм, 14 мм при длине 45 мм и 17 мм при длине 50 мм (в зависимости от емкости и номинального рабочего напряжения). Выводы во всех конденсаторах КБГ-М сделаны через стеклянные изоляторы, расположенные на металлических торцовых стенках корпусов.

Конденсаторы БГМ, КБГ-М и БМ-Т2С при монтаже их в аппаратуре крепить за контактные выводы не следует, так

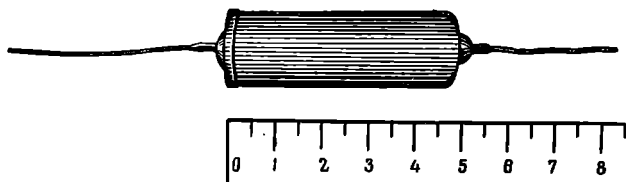


Рис. 28. Бумажный конденсатор КБГ-М2

как при этом стеклянные изоляторы испытывают механическую нагрузку и могут быть повреждены.

Конденсаторы КБГ-И (рис. 29), как и КБГ-М, содержат по одной цилиндрической секции, но их корпус изготовлен из глазурованной керамики. На концы корпуса на-

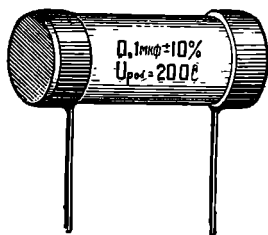


Рис. 29. Бумажный конденсатор КБГ-И

паяны металлические луженые колпачки с ленточными «хвостами». Для спая металла с керамикой на концы керамических трубок предварительно наносится методом вжигания слой серебра. Выводы от обкладок припаяны к металлическим колпачкам, а их ленточные «хвосты» служат для включения (припайки) конденсаторов КБГ-И в схему. В зависимости от емкости и номинального рабочего напряжения корпус этих конденсаторов имеет диаметр 7 мм

при длине 15, 18, 21 мм или диаметр 9,2; 13,4 или 15,4 мм при длине 25 мм. Если конденсаторы КБГ-И должны работать в условиях сильных вибраций, их необходимо крепить в аппаратуре хомутиками, охватывающими их корпус.

Конденсаторы в прямоугольных корпусах. Конденсаторы КБГ-МП, КБГ-МН, КБМ и БГС собираются из плоских секций в корпусах прямоугольного сечения. В их числе име-

ются блоки, состоящие из двух — трех конденсаторов, заключенных в общий корпус. В одиночных конденсаторах КБГ-МП, КБГ-МН и в сдвоенных блоках КБГ-МН и БГС все обкладки изолированы от их корпуса. При этом средний вывод блока — общий для обоих входящих в него конденсаторов. В блоках КБГ-МП общий вывод может быть изолирован от корпуса или соединен с ним. В последнем случае корпус имеет приваренный к нему контактный лепесток для соединения его со схемой.

Выводы изолируемых от корпуса обкладок проходят через стеклянные изоляторы (рис. 24, б), на которых расположены контактные лепестки.

Корпус конденсатора КБГ-МП (рис. 30) — штампованный из листовой стали с впаянным дном из того же материала,

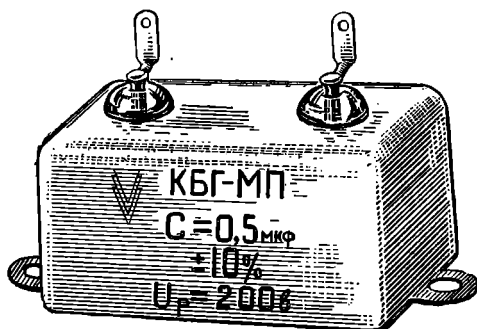


Рис. 30. Бумажный конденсатор КБГ-МП

имеет ушки для крепления на монтажной панели. Выводные изоляторы могут быть расположены на верхней стенке (вариант В), на боковой стенке (вариант Б) или на дне корпуса конденсатора (вариант Н). Конденсаторы БГС и КБМ имеют такое же конструктивное оформление, как и конденсаторы КБГ-МН и КБГ-МП. Номинальная емкость конденсаторов БГС-1 — 0,05 мкф, БГС-2 — 0,25 мкф и БГС-3 — $2 \times 0,1$ мкф (блок с общим выводом от обкладок, соединенным с корпусом).

Боковые стенки, дно и верхняя крышка корпуса конденсатора КБГ-МН старого образца изготовлялись из луженой жести и спаивались между собой. В настоящее время большинство конденсаторов КБГ-МН выпускается в стальном

цельноштампованном корпусе; изготавливается отдельно и припаивается к нему только верхняя крышка. Выводные изоляторы всегда расположены на верхней крышке корпуса конденсатора (рис. 31).

Размеры корпуса конденсаторов КБГ-МП и КБГ-МН тем больше, чем больше их емкость и номинальное рабочее напряжение постоянного тока.

Конденсаторы КБГ-М, КБГ-И, КБГ-МП и КБГ-МН могут работать в цепях переменного и импульсного тока под напряжениями, не превышающими указанных в табл. 11.

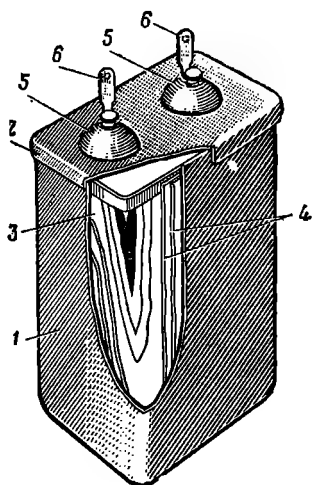


Рис. 31. Бумажный конденсатор КБГ-МН:

1 — металлический корпус; 2 — металлическая крышка корпуса; 3 — конденсаторная секция; 4 — картонные прокладки; 5 — стеклянные изоляторы; 6 — выводные лепестки

В некоторых радиолокационных станциях выпуска прежних лет использовались бумажные (с пропиткой конденсаторным маслом) конденсаторы серий БМ-П, БМ-С и др. В настоящее время производство этих конденсаторов, как недостаточно надежных, прекращено и вместо них применяют описанные выше конденсаторы БГМ, КБГ-МП, КБГ-МН, а также металлобумажные конденсаторы МБГЦ и МБГП (описание последних дано ниже).

Теплоустойчивые бумажные конденсаторы БГТ выполнены в прямоугольном штампованном корпусе (рис. 32). Для более надежной герметизации при повышенных температурах крышка этого конденсатора не припаяна, а приварена к корпусу с помощью контурной дуговой электросварки. Выводные изоляторы — керамические, специальные (рис. 32, б).

Конденсаторы БГТ имеют три габаритных размера: высота и длина по 30 мм при ширине от 17 до 30 мм, высота 54 мм и длина 45 мм при ширине от 17 до 80 мм и высота 115 мм и длина 65 мм при ширине от 30 до 80 мм. Чем больше емкость и номинальное рабочее напряжение конденсатора, тем больше его габаритные размеры.

В вдвоенных блоках БГТ общий вывод всегда соединен с корпусом, к которому приварен контактный лепесток.

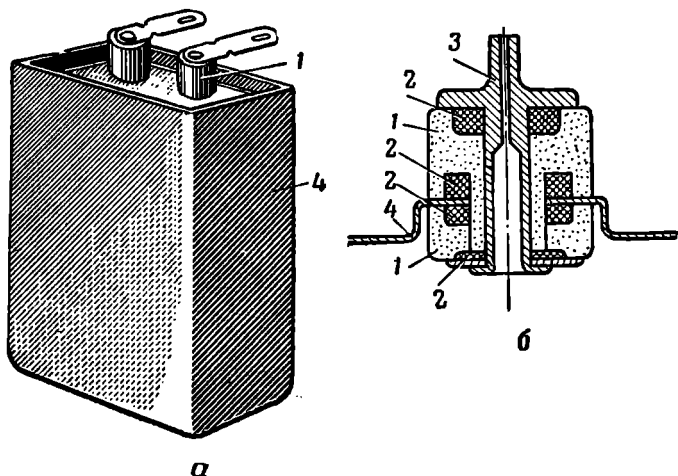


Рис. 32. Теплостойкий бумажный герметизированный конденсатор БГТ:

а — общий вид; *б* — устройство изолятора; 1 — керамика; 2 — резиновые кольца; 3 — металлическая трубка; 4 — корпус конденсатора

Проходные конденсаторы. В проходных бумажных конденсаторах («изоляторах-конденсаторах») КБП одна из обкладок соединена с металлическим герметическим корпусом цилиндрической формы, а другая — со стержнем, проходящим по оси корпуса. Стержень изолирован от корпуса изоляторами, расположенными в торцах корпуса. Концы стержня выходят из корпуса наружу (рис. 33).

Проходные конденсаторы используются в качестве помехозащитных в цепях питания, например для устранения помех радиоприему, создаваемых искрением щеток электрических машин. Для этого токонесущий провод от источника питания, создающего помехи, присоединяется к одному из концов стержня конденсатора КБП, а провод от нагрузки — к другому концу стержня. Корпус конденсатора заземляется. При этом рабочий ток (постоянный или переменный) от источника питания проходит к нагрузке по стержню конденсатора, а большая часть тока высокочастотной помехи замыкается через конденсатор на корпус, так как емкостное сопротивление конденсатора для тока высокочастотной помехи невелико. Даже если рабочий переменный ток имеет повышенную частоту (порядка сотен герц), емкостное сопротивление конденсатора для этого тока значительно выше, чем для тока высокочастотной помехи. Вследствие

этого рабочий ток, ответвляющийся через помехозащитный конденсатор, относительно невелик.

Кроме номинальной емкости и номинального рабочего напряжения, проходные конденсаторы характеризуются дополнительно номинальным рабочим током и сопротивлением связи $Z_{нк}$. Номинальный рабочий ток — это наибольший ток, который допускается длительное время пропускать через стержень конденсатора. Сопротивление связи $Z_{нк}$ проходного конденсатора характеризует эффективность фильтрации им тока помехи и численно выражается как отношение напряжения помехи данной частоты между выходным

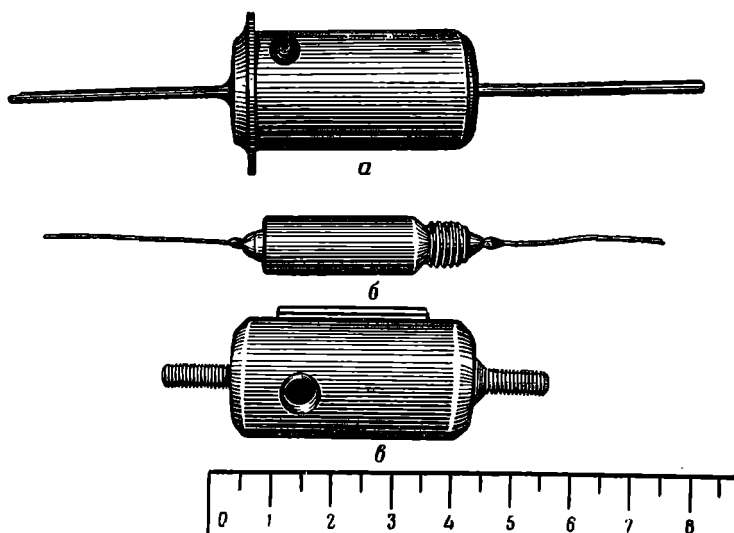


Рис. 33. Проходные бумажные герметизированные конденсаторы:

а — конденсатор KBП-Ф; б — конденсатор KBП-Р; в — конденсатор KBП-С

концом токопроводящего стержня и заземленным корпусом конденсатора к току той же частоты, поступающему на выходной конец стержня конденсатора. Чем меньше $Z_{нк}$ (т. е. чем меньше напряжение на «выходе» конденсатора при данном «входном» токе помехи), тем, очевидно, лучше конденсатор отфильтровывает помеху. Величина $Z_{нк}$ зависит от емкости конденсатора, частоты помехи, а также от конструкции конденсатора.

Изготавливаются конденсаторы КБП трех видов: КБП-Р — на номинальный рабочий ток 10 а; КБП-Ф и КБП-С — на номинальные рабочие токи 20, 40 и 70 а.

Конденсатор КБП-Р (рис. 33, б) имеет на одном конце корпуса резьбу для крепления в отверстии панели (экрана) устройства, создающего помехи, с помощью гайки, навинчиваемой на эту резьбу. Токопроводящий стержень имеет диаметр около 1 мм и изолирован от корпуса конденсатора двумя стеклянными изоляторами, впаянными в торцы стержня. Внешние провода подключают к стержню пайкой.

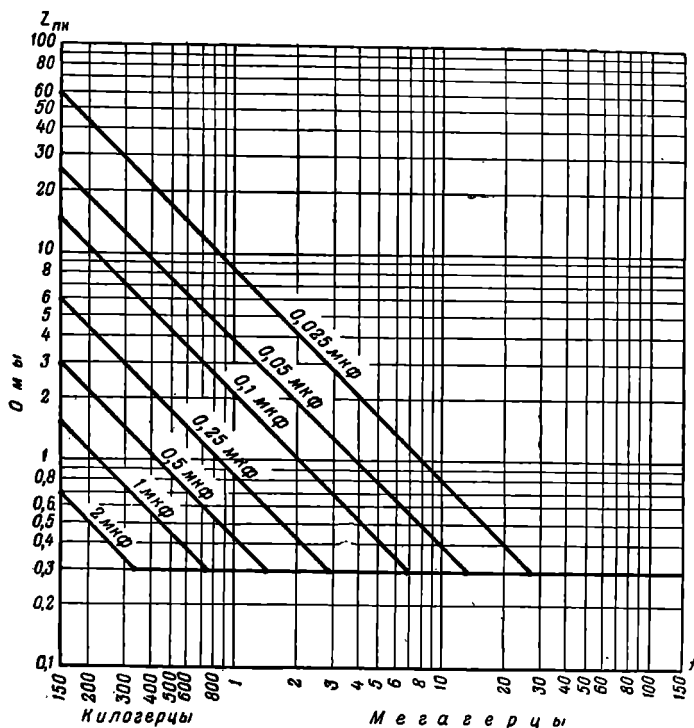


Рис. 34. График зависимости сопротивления $Z_{пк}$ проходных конденсаторов от частоты (предельные значения)

Во избежание перегрева изоляторов при пайке и потери герметичности конденсатора пайку нужно проводить на расстоянии не ближе 5 мм от изолятора.

Конденсатор КБП-Ф (рис. 33, а) имеет на одном торце фланец с отверстиями для крепления конденсатора к панели (экрану) винтами через эти отверстия.

Конденсатор КБП-С (рис. 33, в) крепится на поверхности панели винтами, ввинчиваемыми в резьбовые отверстия скобы, приваренной к корпусу конденсатора.

Изоляторы в конденсаторах КБП-Ф и КБП-С — плоские, керамические. При номинальном рабочем токе 20 а токопроводящий стержень из медной луженой проволоки диаметром около 2 мм. Внешние провода припаиваются к стержню на расстоянии не ближе 15 мм. Токопроводящие стержни проходных конденсаторов на рабочие токи 40 и 70 а имеют соответственно диаметры 4 и 6 мм с резьбой на концах. Внешние проводники в этих случаях подключаются путем зажатия их между шайбами и гайками.

На рис. 34 дан график зависимости сопротивления $Z_{\text{пк}}$ для конденсаторов КБП с различными емкостями. Для конденсаторов КБП-С этими кривыми можно пользоваться только при частотах, не превышающих 20 Мгц; более высокие частоты конденсаторы КБП-С подавляют малоэффективно. Конденсаторы КБП-Р и КБП-Ф пригодны для подавления помех с частотами до 150 Мгц.

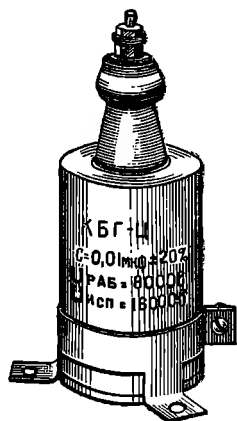


Рис. 35. Высоковольтный бумажный конденсатор КБГ-Ц

Высоковольтные бумажные конденсаторы. В этих конденсаторах в качестве диэлектрика применяется много слоев конденсаторной бумаги. Секции

соединяются последовательно: чем выше номинальное рабочее напряжение конденсатора, тем выше в нем последовательно соединенных секций. Конденсатор заключен в цилиндрический или прямоугольный корпус (рис. 35—38). Свободное от секций пространство внутри корпуса заполняется маслом, которое пропитывает бумагу. Выводные изоляторы высоковольтных бумажных конденсаторов, как правило, керамические. На них имеются зажимы или контактные лепестки для подключения внешних проводников. У некоторых конденсаторов обе обкладки изолированы от корпуса, а у других одна из них соединена с корпусом. Для заземления корпуса к нему обычно приваривают контактные лепестки.

Электрические характеристики некоторых отечественных высоковольтных бумажных конденсаторов приведены в табл. 12. Наибольшее распространение в различной радиотехнической аппаратуре имеют конденсаторы КБГ-Ц (Кон-

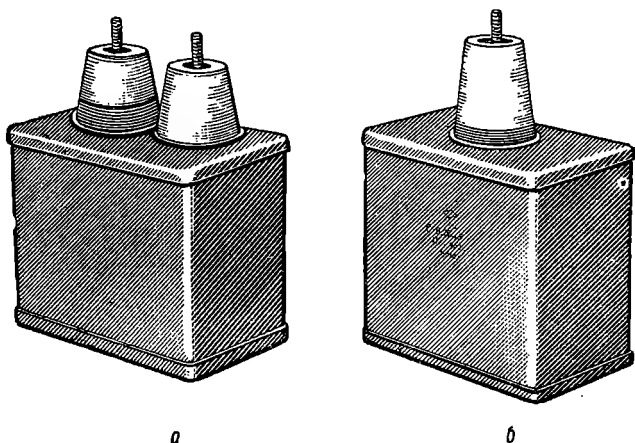


Рис. 36. Высоковольтные бумажные конденсаторы БМВ:

а — с двумя изолированными от корпуса выводами; б — с одним изолированным от корпуса выводом (аналогичный вид имеют конденсаторы КБГ-П)

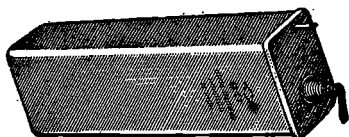


Рис. 37. Высоковольтный бумажный конденсатор БМ-С1

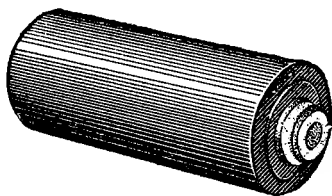


Рис. 38. Высоковольтный бумажный конденсатор БТС-Ц

денсатор Бумажный Герметический в Цилиндрическом корпусе) и КБГ-П (Конденсатор Бумажный Герметический в Плоском корпусе). Они используются преимущественно в сглаживающих фильтрах высоковольтных блоков питания, а также в качестве накопительных. Когда они работают в

цепях пульсирующего тока, амплитуда переменной составляющей не должна превышать величины, указанной в табл. 10.

Конденсаторы БМВ (БумагоМасляный Высоковольтный) могут использоваться в импульсных цепях при напряжении, равном номинальному рабочему, и разрядном токе до 15 а. При использовании этих конденсаторов, а также конденсаторов БМ-С1 (БумагоМасляный) в цепях пульсирующего тока амплитуда переменной составляющей с частотой 400 гц не должна превышать 6%.

Конденсаторы КБТ-С (Конденсатор Бумажный Тепло-стойкий) используются преимущественно как фильтровые в высоковольтных блоках с повышенной питающей частотой. Конденсаторы БТС-П (Бумажный Трубчатый Специальный) и КБМ-101, состоящие из двух секций, применяются в схемах выпрямителей с удвоением напряжения. Конденсаторы БТС-Ц используются главным образом в качестве накопительных.

Тангенс угла потерь всех этих высоковольтных конденсаторов в нормальных условиях не выше 0,01 [для конденсаторов БМВ, БМ-С1 и КБМ-101 (Конденсатор Бумаго-Масляный) допускается до 0,015]. Сопротивление изоляции в тех же условиях не менее 10 000 *Мом* для конденсаторов емкостью до 0,1 *мкф* и не менее 2000 *Мом · мкф* для конденсаторов больших емкостей. При максимальной рабочей температуре сопротивление изоляции может уменьшаться в 10—20 раз. Изменение емкости при крайних значениях рабочих температур по сравнению с емкостью, измеренной в нормальных условиях, не превышает $\pm 10\%$.

7. Металлобумажные конденсаторы

Одной из причин нарушения нормальной работы или полного прекращения действия радиотехнических устройств нередко является пробой входящих в их схемы конденсаторов постоянной емкости. Для восстановления действия устройства неисправный конденсатор приходится заменять новым, так как исправить пробитый конденсатор обычно невозможно.

От указанного недостатка свободны так называемые металлобумажные конденсаторы. В случае возникновения пробоя диэлектрика в металлобумажном конденсаторе, даже

если этот диэлектрик однослойный, конденсатор быстро самовосстанавливается и нормальная работа радиотехнического устройства не нарушается.

По размерам металлобумажные конденсаторы значительно меньше бумажных, имеющих те же номинальные рабочие напряжения и емкости. Так, например, металлобумажные конденсаторы МБГП на рабочее напряжение 1500 в в 3 раза меньше по объему аналогичных бумажных конденсаторов КБГ-МН, а конденсаторы МБГП на рабочее напряжение 200 в в 6 раз.

Учитывая вышеуказанные преимущества, металлобумажные конденсаторы за последние годы стали широко применять вместо бумажных, особенно когда требуется повышенная надежность действия аппаратуры и уменьшение ее габаритов.

Отметим, что металлобумажные конденсаторы больших емкостей, приближаясь по объему к электролитическим, обладают лучшим сопротивлением изоляции (меньшей утечкой), большим сроком службы и лучшей холодоустойчивостью. Так, например, даже при -60°C емкость металлобумажного конденсатора изменяется не более чем на 10—15% по сравнению с емкостью при нормальной комнатной температуре, в то время как емкость даже так называемых особоморозоустойчивых электролитических конденсаторов при этой температуре может уменьшиться вдвое. Поэтому металлобумажные конденсаторы с большими емкостями (2—30 мкф) применяются в сглаживающих фильтрах выпрямителей (вместо электролитических конденсаторов), когда требуется повышенная надежность действия радиоаппаратуры и допустимо некоторое увеличение ее размеров.

Устройство металлобумажных конденсаторов. В качестве диэлектрика в металлобумажных конденсаторах, предназначенных для работы в цепях постоянного или пульсирующего тока, применяется конденсаторная бумага толщиной 5—15 м, такая, как и в обычных бумажных конденсаторах с фольговыми обкладками. Чтобы изолировать от обкладок конденсатора содержащиеся в бумаге электропроводящие частицы, закрыть отверстия в ней и таким образом улучшить ее диэлектрические свойства, бумага покрывается с одной или с двух сторон слоем эцетилцеллюлозного лака *.

* Эцетилцеллюлоза — простой эфир целлюлозы.

Обкладками металlobумажного конденсатора являются слои металла толщиной порядка сотых долей микрона, нанесенные на одну сторону бумаги поверх слоя лака (рис. 39).

Обкладки осаждают на бумагу с помощью специальной машины металлизации, в герметической камере кото-

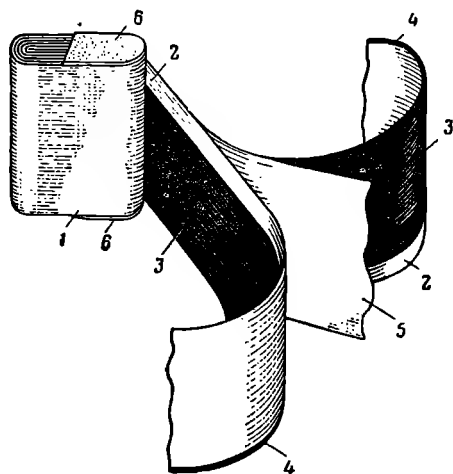


Рис. 39. Устройство секции плоского металlobумажного конденсатора:

1 — намотанная секция; 2 — свободный от металлизации край бумаги; 3 — металлизация; 4 — металлизированная кромка; 5 — добавочный слой неметаллизированной бумаги; 6 — контактные полосы

рой от электрического нагрева плавятся и испаряются металлы. Для облегчения их испарения и для уменьшения окисляющего действия на них кислорода воздуха внутри камеры машины создается сильное разрежение атмосферы. Движущаяся внутри машины бумажная лента проходит над тиглем с расплавленным оловом, а затем над тиглем с расплавленным цинком. Пары металлов, соприкасаясь с лакированной поверхностью бумаги, мгновенно охлаждаются и затвердевают. В результате на одной стороне бумаги осаж-

дается очень тонкий (мономолекулярный) слой олова, плотно сцепляющийся с поверхностью бумаги, а поверх него несколько более толстый слой цинка, обладающий достаточно хорошей электропроводностью. Для металлизации конденсаторной бумаги применяют также алюминий.

Осаждение металла на бумаге и последующая ее продольная резка производятся так, что в результате получается лента, один край которой по всей длине остается не покрытым металлическим слоем на ширину в несколько миллиметров. В то же время металлический слой заходит на торец другого края бумажной ленты и на другую ее сторону, создавая на ней узкую металлизированную кромку (рис. 39).

Две такие металлизированные бумажные ленты наматываются на намоточном станке в рулон так, что свободная от металла кромка первой ленты обращена в одну сторону, а такая же кромка второй ленты — в другую сторону.

Для повышения электрической прочности диэлектрика в большинстве конденсаторов на рабочие напряжения выше 250 в между металлизированными лентами наматывается еще один или несколько дополнительных неметаллизированных лент конденсаторной бумаги. Секции, предназначенные для конденсаторов в плоских корпусах, сплющивают путем прессования.

Выводы от обкладок металлобумажных конденсаторов выполняются следующим образом. На торцы секции с помощью пульверизатора наносится в расплавленном и распыленном виде сплав евинца с оловом. Быстро охлаждаясь и отвердевая, он крепко сцепляется с торцовой металлизацией всех слоев секции, образуя на ее торцах так называемые контактные полосы, создающие надежное электрическое соединение между всеми слоями (витками) каждой данной обкладки. Вследствие этого металлобумажный конденсатор обладает малой собственной индуктивностью. К контактным полоскам легко припаиваются медные луженые проводники.

Цилиндрические конденсаторы, а также плоские конденсаторы относительно небольших емкостей содержат по одной секции. Плоские конденсаторы с большими емкостями состоят из нескольких секций. Так, например, конденсаторы МБГП на рабочее напряжение 160 в с номинальными емкостями 2 и 4 мкф комплектуются соответственно из 2 и 4 секций емкостью по 1 мкф каждая, а конденсаторы с номинальными емкостями 10, 15, 20 и 30 мкф — из 2, 3, 4 и 6 секций емкостью по 5 мкф. Последние соединяются параллельно напайкой между их контактными полосками проволочных перемычек.

Секция или все секции конденсатора большой емкости обертываются в бумагу. Полученный пакет просушивается в вакууме, пропитывается в церезине и помещается в герметический металлический корпус.

Надежная герметичность корпуса металлобумажного конденсатора имеет значительно большее значение, чем для конденсаторов других типов, так как при проникновении в металлобумажный конденсатор влаги его тонкие обкладки могут разрушаться (коррозировать), а это уменьшает его емкость.

Самовосстановление металлобумажных конденсаторов можно объяснить следующим образом. Пробой конденсаторов обычно происходит в «слабых местах» диэлектрика, где бумага имеет наименьшую толщину или в местах вкрапления в бумагу электропроводящих частиц. Через место пробоя начинается разряд конденсатора — возникает сильный электрический ток, который мгновенно расплавляет металлизацию вокруг места пробоя на 1—2 мм. В результате вокруг места пробоя на конденсаторной бумаге не остается сплошного металлического слоя, т. е. оно оказывается изолированным от обкладок и ток прекращается. Таким образом, участки обкладок металлобумажного конденсатора вокруг места пробоя выполняют как бы роль плавкого предохранителя, расплавляющегося за счет энергии, запасенной конденсатором. Изолирование места пробоя происходит обычно настолько быстро, что конденсатор не успевает полностью разрядиться. Так как площадь оплавления обкладок вокруг места пробоя очень мала, емкость самовосстановившегося конденсатора сколько-нибудь заметно не уменьшается.

Обычные же бумажные конденсаторы с фольговыми обкладками после пробоя не восстанавливаются потому, что проходящий через место пробоя ток не может выделить тепловую энергию в количестве, достаточном для расплавления фольги, так как фольга в сотни раз толще обкладок металлобумажных конденсаторов.

Недостатки металлобумажных конденсаторов. Наряду с существенными достоинствами металлобумажные конденсаторы обладают и рядом недостатков. Основной из них заключается в том, что сопротивление изоляции ниже, чем у бумажных. Наименьшим сопротивлением изоляции обладают металлобумажные конденсаторы, имеющие однослойный диэлектрик, т. е. в которых нет дополнительных неметаллизированных слоев бумаги. Такие металлобумажные конденсаторы снижают сопротивление изоляции в процессе эксплуатации зачастую в 4—6 раз. Уменьшение сопротивления изоляции происходит также при их длительном хранении в бездействующем состоянии.

Наиболее часто и наиболее резко снижается сопротивление изоляции у конденсаторов с однослойным диэлектриком. В некоторых образцах этих конденсаторов сопротивление изоляции падает до нескольких килоом. Это объясняется тем, что частицы металла обкладок проникают с поверхности бумаги в ее толщину, образуя совместно

с имеющимися в ней токопроводящими включениями проводящие и полупроводящие «мостики» между обкладками. Этому способствуют механические деформации внутри секций, возникающие при эксплуатации и хранении конденсаторов. Полупроводящие «мостики» не могут быть разрушены, так как через них не может пройти ток, достаточный для оплавления металла вокруг этих «мостиков».

Если диэлектрик металлобумажного конденсатора был пробит относительно немного раз, сопротивление его изоляции обычно сохраняется достаточно высоким (практически даже после нескольких тысяч пробоев). Однако при дальнейшем увеличении числа самовосстановившихся пробоев общая площадь разрушенных участков диэлектрика возрастает, в нем накапливается значительное количество продуктов горения, обладающих плохими диэлектрическими свойствами, и сопротивление изоляции металлобумажного конденсатора снижается.

Нежелательно применять металлобумажные конденсаторы с однослойным диэлектриком в цепях с напряжением, значительно меньшим номинального (порядка нескольких вольт или долей вольта), так как при таком напряжении энергия, запасенная конденсатором, недостаточна для «прожигания» дефектных мест в диэлектрике.

Типы металлобумажных конденсаторов. К металлобумажным конденсаторам относятся следующие:

МБМ — МеталлоБумажный Малогабаритный конденсатор.

МБГЦ — МеталлоБумажный Герметизированный конденсатор в Цилиндрическом корпусе.

МБГП — МеталлоБумажный Герметизированный конденсатор в Прямоугольном корпусе *.

МБГО — МеталлоБумажный Герметизированный конденсатор с Однослойным диэлектриком.

МБГН — МеталлоБумажный Герметизированный конденсатор повышенной Надежности.

МБГТ — МеталлоБумажный Герметизированный Теплоустойчивый конденсатор.

МБГЧ — МеталлоБумажный Герметизированный Частотный конденсатор (для работы в цепях переменного тока).

* До 1955 года эти конденсаторы на номинальные рабочие напряжения постоянного тока 160 и 250 в выпускались под названием КМБГ (Конденсатор МеталлоБумажный Герметизированный).

Холодоустойчивость металлобумажных конденсаторов всех перечисленных типов минус 60° С. Все эти конденсаторы работоспособны в атмосфере с относительной влажностью до 98%.

Металлобумажные конденсаторы с номинальным рабочим напряжением до 400 в включительно (теплоустойчивые конденсаторы МБГТ до 500 в включительно) работают без снижения напряжения при разрежении атмосферы до 5 мм рт. ст., а конденсаторы на более высокое рабочее напряжение — до 40 мм рт. ст.

Конденсаторы МБМ, МБГО и МБГЧ выпускаются с допусками по классам точности II и III, конденсаторы МБГН — с допусками по классам точности I и II, а металлобумажные конденсаторы всех остальных упомянутых типов — с допусками по классам точности I, II и III.

Тангенс угла потерь всех металлобумажных конденсаторов в нормальных условиях при измерении его на частоте 50 гц не превышает 0,015 (у конденсаторов МБГЧ не превышает 0,01). Допустимые величины переменной составляющей на конденсаторах даны в табл. 10. Остальные важнейшие характеристики металлобумажных конденсаторов приведены в табл. 13.

Цилиндрические металлобумажные конденсаторы. Малогабаритные конденсаторы МБМ содержат по одной цилиндрической секции. Диэлектрик однослойный из конденсаторной бумаги толщиной 8 м. Секция заключена в трубчатый алюминиевый корпус цилиндрического сечения, торцы которого залиты эпоксидным компаундом, обеспечивающим защиту секции от проникновения влаги. Проволочные выводы, припаянные к контактным полоскам секции, выходят через компаунд наружу. Общий вид металлобумажных конденсаторов МБМ такой же, как и бумажных БМ (рис. 26). Диаметр корпуса конденсаторов МБМ емкостью 0,05 и 0,1 мкф — 6 и 8,5 мм при длине 18 мм, а диаметр корпуса конденсаторов большей емкости равен 8,5—14 мм при длине 31 мм.

Конденсаторы МБГЦ также содержат по одной секции, но она заключена в трубчатый стальной корпус. Конденсаторы на рабочее напряжение 200 в имеют однослойный диэлектрик из конденсаторной бумаги толщиной 8 м, покрытой лаком с двух сторон; конденсаторы МБГЦ на рабочее напряжение 400 в имеют один дополнительный слой такой же бумаги, конденсаторы на рабочее напряжение 600 в — два слоя. Эти конденсаторы выпускаются двух

видов: МБГЦ-1 и МБГЦ-2 (рис. 40). Одна из обкладок конденсатора МБГЦ-1 соединена с корпусом, а другая выведена через стеклянный изолятор, расположенный на одном из торцов корпуса. Для включения конденсатора в схему на изоляторе имеется луженый контактный лепесток. В конденсаторе МБГЦ-2 выводы обеих обкладок изолированы от корпуса указанным способом. В зависимости от номинального рабочего напряжения и емкости конденсаторы имеют корпус диаметром 11—18,5 мм и длиной 37—51 мм.

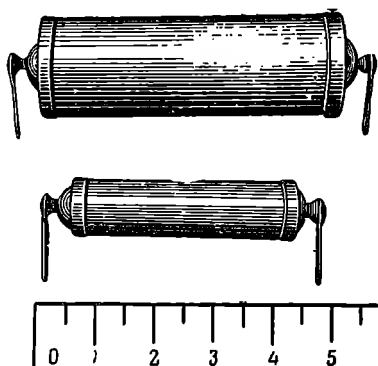


Рис. 40. Металлобумажные конденсаторы МБГЦ-2

Металлобумажные конденсаторы в плоских корпусах. Конденсаторы МБГП и МБГО (рис. 41) содержат несколько плоских секций, размещенных в прямоугольном корпусе высотой 25 мм и длиной 31 мм при ширине от 11 до 31 мм, высотой 50 мм и длиной 46 мм при ширине от 11 до 86 мм или высотой 115 мм и длиной 69 мм при ширине от 34 до 107 мм. Чем больше емкость и номинальное рабочее напряжение конденсатора, тем больше и его габаритные размеры.

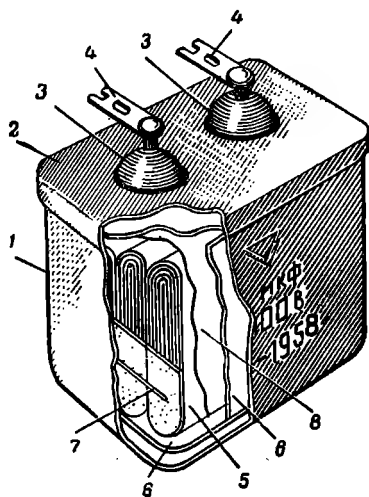


Рис. 41. Устройство металлобумажного конденсатора МБГП:

1 — корпус; 2 — крышка корпуса; 3 — стеклянные изоляторы; 4 — выводные лепестки; 5 — конденсаторная секция; 6 — картонные пропитанные прокладки; 7 — проволоочная перемычка между секциями; 8 — бумажная обертка

Диэлектрик конденсаторов МБГП на рабочие напряжения 160 и 200 в однослойный из конденсаторной бумаги толщиной 8 м. В первом лакировка бумаги односторонняя, в последнем — двухсторонняя. Конденсаторы МБГП на рабочее напряжение 250 в имеют такой же

Диэлектрик конденсаторов МБГП на рабочие напряжения 160 и 200 в однослойный из конденсаторной бумаги толщиной 8 м. В первом лакировка бумаги односторонняя, в последнем — двухсторонняя. Конденсаторы МБГП на рабочее напряжение 250 в имеют такой же

диэлектрик, но толщиной 15 μ (с односторонней лакировкой). Конденсаторы МБГП на большие напряжения имеют многослойный диэлектрик с двухсторонней лакировкой: при рабочем напряжении 400 в — два слоя бумаги толщиной 8 μ , при 600 в — три слоя такой же бумаги и т. д.

Во всех конденсаторах МБГО однослойный диэлектрик. Чем больше рабочее напряжение конденсатора, тем больше толщина применяемой бумаги.

В ассортименте конденсаторов МБГП имеются блоки, состоящие из двух секций одинаковой емкости, заключенных в общий корпус (рис. 42). В этом случае по одной обкладке каждой секции соединены между собой, а другие обкладки имеют отдельные выводы. Как в одиночных конденсаторах, так и в блоках все обкладки изолированы от корпуса стеклянными изоляторами, на которых расположены контактные лепестки, служащие для припайки проводников схемы. Изоляторы располагаются на верхней



Рис. 42. Блок МБГП-1, содержащий две секции металлобумажных конденсаторов

крышке корпуса конденсатора. В блоках средний вывод является общим для обоих входящих в блок конденсаторов. У старых образцов конденсаторов МБГП (КМБГ) боковые стенки, дно и верхняя крышка изготовлялись из луженой жести и герметически спаивались между собой свинцово-оловянистым припоем. В настоящее время большинство конденсаторов МБГО и МБГП выпускается в стальном цельноштампованном корпусе; изготавливается отдельно и припаивается к нему только верхняя крышка с выводными изоляторами.

Металлобумажные конденсаторы МБГО и МБГП, выпускаемые без приспособлений для крепления в аппаратуре (рис. 41), называются МБГО-1 и МБГП-1 соответственно, а конденсаторы тех же типов, но с приваренными к их корпусу скобами или планками для крепления называются МБГО-2, МБГП-2 и МБГП-3 (рис. 43). Конденсаторы МБГП-2 и МБГП-3 отличаются конструкцией и расположением скоб и планок.

Поскольку в конденсаторах МБГП на рабочие напряжения 400 в и выше имеются дополнительные неметаллизированные слои бумаги, а во всех конденсаторах МБГО диэлектрик однослойный, конденсаторы МБГО на те же напряжения обладают примерно вдвое меньшим объемом, чем конденсаторы МБГП на такие же номинальные рабочие напряжения и с такими же емкостями. Однако из-за указанной особенности конденсаторов МБГО сопротивление изоляции между их обкладками ниже (см. таблицу 13) и вероятность пробоев однослойного диэлектрика за определенный период эксплуатации больше. Вследствие этого эксплуатационный срок службы и надежность конденсаторов МБГО, как правило, меньше, чем конденсаторов МБГП.

Конденсаторы МБГН используются вместо конденсаторов МБГП на номинальные рабочие напряжения постоянного тока 160 и 200 в в тех случаях, когда требуется повышенная надежность работы, в том числе при очень низких напряжениях. Повышенная надежность обеспечивается тем, что в конденсаторах МБГН вместо диэлектрика из одного слоя бумаги толщиной 8 μ применен диэлектрик из двух слоев бумаги толщиной 4—5 μ . Конструктивно конденсаторы МБГН оформлены так же, как и конденсаторы МБГП (в паяном жестяном корпусе со стеклянными изоляторами), но имеют несколько больший объем по сравнению с конденсаторами МБГП с такой же емкостью на рабочее напряжение 200 в. Так, конденсаторы МБГН с номинальными емкостями 1, 2 и 4 мкф имеют корпуса высотой 40 мм и длиной 31 мм при ширине 11, 21 и 31 мм соответственно, а конденсаторы МБГН с номинальными емкостями 9, 14, 18 и 27 мкф — корпус высотой 70 мм и длиной 46 мм при ширине 21, 31, 41 и 61 мм соответственно.

Конденсаторы МБГН, выпускаемые в корпусах без приспособлений для крепления в аппаратуре, называются МБГН-1. Конденсаторы МБГН с приваренными к их корпусу скобами или планками для крепления называются МБГН-2 и МБГН-3.

Металлобумажные конденсаторы МБГЧ в отличие от

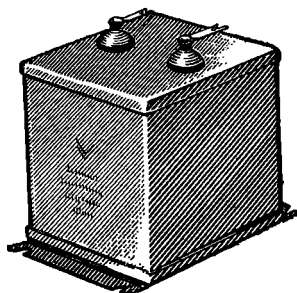


Рис. 43. Конденсатор МБГП-3

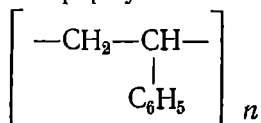
всех других рассмотренных выше металлобумажных конденсаторов предназначены для работы в цепях переменного тока. Обкладки наносятся на конденсаторную бумагу толщиной 8 μ , не имеющую лакового покрытия. Конденсаторы МБГЧ на рабочее напряжение 150 в имеют однослойный диэлектрик, а на большие рабочие напряжения — двухслойный. При этом в конденсаторах на рабочие напряжения 500, 750 и 1000 в соединяют последовательно по две, три и четыре секции соответственно. Для пропитки бумаги используется вазелин.

Конденсаторы МБГЧ выпускаются в прямоугольных корпусах такой же конструкции и таких же габаритов, как и конденсаторы МБГП и МБГО. При отсутствии скоб и планок для крепления конденсаторы называются МБГЧ-1. Конденсаторы с планками для крепления, приваренными ко дну корпуса, называются МБГЧ-2, а с планками или скобами для крепления, приваренными к крышке, — МБГЧ-3.

8. Пленочные конденсаторы

Пленочными называются конденсаторы, в которых в качестве диэлектриков применяются органические высокомолекулярные пленки. Наибольшее распространение в конденсаторах в настоящее время имеет пленка из полистирола, называемая также стирофлексом*.

Полистирол представляет собой прозрачную искусственную смолу. Его получают из жидкого углеводорода — стирола путем полимеризации при повышенной температуре**. Химическая структурная формула полистирола



Полистирол является неполярным диэлектриком, поэтому полистирольные конденсаторы успешно применяют как в низкочастотных, так и в высокочастотных цепях. Его диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь малы и в широких пределах не зависят от

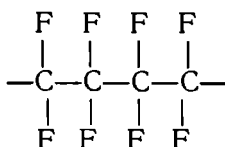
* За рубежом полистирол известен также под фирменным названием полистирен.

** Стирол выделяют из продуктов сухой перегонки каменного угля или получают синтетическим путем. Это бесцветная жидкость с характерным запахом.

температуры и частоты. Основные физические и электрические параметры полистирола приведены в табл. 14.

Недостатком полистирола, как и всех других органических полимеров, состоящих из атомов углерода, водорода и кислорода, является его низкая теплоустойчивость (предельная рабочая температура полистирольных конденсаторов не выше 60—70° С в зависимости от степени полимеризации полистирола) и склонность к старению при воздействии электрического поля и повышенных температур.

Высокой теплоустойчивостью, химической устойчивостью и хорошими диэлектрическими свойствами обладают фторорганические полимеры, так как энергия химической связи между молекулами углерода и фтора больше. Представителем фторорганических высокомолекулярных соединений является политетрафторэтилен, более известный под названием фторопласта-4 или тефлона (за рубежом известен под фирменным названием флоун). Фторопласт-4 исключительно стоек к действию химически активных веществ, в этом отношении он превосходит даже благородные металлы золото и платину. Фторопласт-4 получают путем полимеризации тетрафторэтилена C_2F_4 (этилена, в молекуле которого все четыре атома водорода замещены молекулами фтора) под давлением 2000 ат. Химическая структурная формула фторопласта-4:



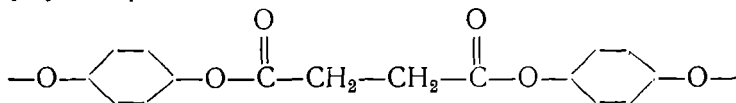
Из фторопласта-4 можно получать пленки толщиной 10—30 м. Пленки эти полупрозрачны, имеют белый (молочный) или сероватый оттенок.

Фторопласт-4, как и полистирол, неполярен и поэтому может использоваться в конденсаторах, работающих в цепях высокой частоты. Конденсаторы с диэлектриком из фторопласта-4 могут длительно работать при температурах до 200° С, а кратковременно и до 250° С. При температуре выше 400° С фторопласт-4 начинает разлагаться, выделяя газообразный фтор, который весьма ядовит и химически активен.

К числу теплоустойчивых полярных диэлектриков относятся политрифтормоноклорэтилен (полимер трифторхлорэтилена $CF_2 = CFCI$), более известный под названием

фторопласта-3, и полиэтилентерафталат, который называют также лавсаном и териленом*.

Исходными продуктами для изготовления терилена являются этилен и терефталевая кислота. Последнюю получают путем окисления параксилола, парацинола или некоторых других углеводородов. Параксилон — это продукт коксобензольной промышленности (получается в процессе коксования угля). Парацинол является отходом бумажной промышленности. Он получается в виде маслянистого вещества при промывке целлюлозы. Химическая структурная формула терилена



Конденсаторы с диэлектриком из фторопласта-3 работоспособны длительное время при температурах до 150° С, а из терилена — до 125—130° С. Однако вследствие того что последние два диэлектрика полярны, они обладают повышенным тангенсом угла потерь (табл. 14); поэтому конденсаторы с такими диэлектриками могут применяться только в цепях постоянного тока и тока низкой частоты.

Наибольшие перспективы имеют конденсаторы с диэлектриком из терилена, так как пленки из этого материала обладают особо высокой прочностью; поэтому они могут изготавливаться толщиной 2—3 м. Конденсаторы с диэлектриком из терилена такой толщины могут иметь меньшие размеры, чем бумажные конденсаторы такой же емкости и с таким же рабочим напряжением.

Фторопласт-3 по диэлектрическим свойствам уступает фторопласту-4, однако он имеет большую твердость и механическую прочность.

Типы пленочных конденсаторов и их параметры. Отечественная радиопромышленность выпускает пленочные конденсаторы следующих типов:

ПМ — Полистирольный Малогабаритный.

ПО — Полистирольный Открытый.

ПГ-И — Полистирольный Герметизированный в корпусе из Изоляционного материала**.

* Из полиэтилентерафталата изготавливают искусственное волокно. За рубежом он известен под фирменным названием Майлар.

** Конденсаторы ПГ-И выпускались также под названием ПГС-И. В настоящее время конденсаторы ПГ-И не выпускаются.

ПГ-М — Полистирольный Герметизированный в Металлическом корпусе *.

МПГ-Ц — МеталлоПленочный полистирольный Герметизированный в Цилиндрическом металлическом корпусе.

МПГ-П — МеталлоПленочный полистирольный Герметизированный в Прямоугольном металлическом корпусе.

МПГ-Т — МеталлоПленочный полистирольный Герметизированный Точный.

ФТ — Фторопластовый Теплостойкий.

ФГТ — Фторопластовый Герметизированный Теплостойкий.

ФГТ-И — Фторопластовый Герметизированный Теплостойкий в корпусе из Изоляционного материала (высоковольтный).

ФТН — Фторопластовый Теплостойкий Нормальный.

ФГТН — Фторопластовый Герметизированный Теплостойкий Нормальный.

Холодоустойчивость пленочных конденсаторов всех перечисленных типов минус 60°C (конденсаторов ПО минус 40°C). Все они работоспособны в атмосфере с относительной влажностью до 98%, за исключением негерметизированных конденсаторов ПМ-1 и ПО, которые работоспособны при относительной влажности не выше 80%.

Температурный коэффициент емкости конденсаторов ПМ, ПГ-И, ПГ-М, МПГ-Ц, МПГ-П, МПГ-Т, ФТ, ФГТ не более $-200 \cdot 10^{-6}$ на 1°C . Емкость конденсаторов ФГТ-И при $t = -60^{\circ}\text{C}$ и $+150^{\circ}\text{C}$ отличается от измеренной в нормальных условиях не более чем на $\pm 5\%$.

Тангенс угла потерь всех этих конденсаторов в нормальных условиях не превышает 0,0010 и при максимальной рабочей температуре — не более 0,0015. Измерение $\text{tg } \delta$ конденсаторов ПМ производится на частотах 800—1000 кГц, а остальных конденсаторов — на частотах 800—1000 гц. Для конденсаторов ПО изменения емкости в рабочем диапазоне температур, ТКЕ и $\text{tg } \delta$ не регламентируются.

Остальные электрические характеристики пленочных конденсаторов приведены в табл. 15, а металлопленочных — в табл. 16.

* Конденсаторы ПГ-М выпускались также под названием ПГС-М. В настоящее время конденсаторы ПГ-М не выпускаются.

Полистирольные конденсаторы. Малогабаритный конденсатор ПМ состоит из двух полосок алюминиевой фольги — обкладок, отделенных друг от друга слоем полистирольной пленки толщиной 20 μ . Обкладки вместе с диэлектриком свернуты в рулон. Выводы от обкладок сделаны в виде тонких проволочек, заложенных между обкладками и диэлектриком. Концы проволочек, контактирующие с обкладками, сплющены. Этим достигается лучший контакт выводов с обкладками и устраняется возможность повреждения диэлектрика выводами. После сборки конденсатор в течение нескольких часов прогревается при 220—300° С, при этом торцы полистирольной пленки спекаются, чем обеспечивается плотное прилегание фольги к диэлектрику. Выпускаемые в таком виде конденсаторы называются конденсаторами ПМ-1. Диаметр их корпуса не более 4 мм, а длина не более 11 мм.

Конденсатор ПМ-2 изготавливается таким же способом, но он заключается в алюминиевую трубочку, концы которой завальцовываются на текстолитовые шайбы и заливаются компаундом на основе эпоксидной смолы. Выводные проводники выходят сквозь заливку наружу. Этим достигается герметизация секции конденсатора. Его внешний вид такой же, как конденсаторов БМ, МБМ (рис. 26). Благодаря герметичности конденсаторы ПМ-2 работоспособны длительное время в атмосфере с относительной влажностью до 98%, в то время как негерметизированные конденсаторы ПМ-1 могут работать продолжительное время при влажности, не превышающей 80%.

Конденсатор ПМ-2 имеет диаметр корпуса не более 5 мм при длине не более 12,5 мм, т. е. по габаритам он несколько больше, чем конденсатор ПМ-1.

Конденсатор ПО (рис. 44) на номинальное рабочее напряжение постоянного тока 300 в по своей конструкции аналогичен конденсатору ПМ-1, но его обкладки, изготовленные из фольги толщиной 7 μ , разделены двумя слоями полистирольной пленки толщиной по 30 μ каждый. Необходимость применения при указанном напряжении двух слоев пленки вызывается наличием в ней глубоких пор и сквозных отверстий, т. е. дефектов, аналогичных дефектам бумаги. Диаметр корпуса этих конденсаторов в зависимости от емкости равен 12—24 мм при длине 31—49 мм.

Полистирольный конденсатор ПГ-И имеет керамический корпус с напаянными на концах металлическими колпачками с ленточными выводами. По внешнему виду эти кон-

денсаторы аналогичны бумажным конденсаторам КБГ-И (рис. 29). Диаметр корпуса конденсатора ПГ-И в зависимости от емкости и рабочего напряжения равен 14—20 мм при длине 26—43 мм.

Полистирольный конденсатор ПГ-М имеет стальной луженый и покрытый эмалью прямоугольный корпус с керамическими изоляторами. В зависимости от емкости и рабочего напряжения конденсатора его корпус имеет длину от 33 до 128 мм, ширину от 18 до 64 мм и высоту от 42 до 75 мм.

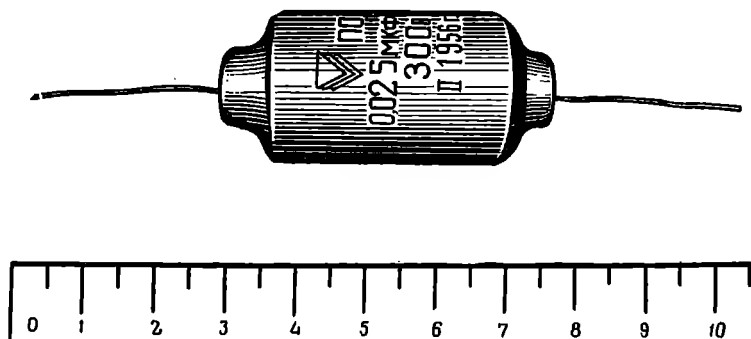


Рис. 44. Полистирольный конденсатор ПО

Металлопленочные герметизированные конденсаторы МПГ-Ц, МПГ-П и МПГ-Т отличаются внутренним устройством от конденсаторов ПГ-И и ПГ-М тем, что их обкладки не фольговые, а нанесены непосредственно на стирофлексную пленку (подобно тому, как это делается в металобумажных конденсаторах). Вследствие этого габариты металлопленочных конденсаторов меньше, чем пленочных ПГ-И и ПГ-М, имеющих такие же номинальные емкости и рабочие напряжения. Корпус конденсатора МПГ-Ц имеет такую же конфигурацию, как и корпус металобумажного конденсатора МБМ; он представляет собой цилиндрическую трубку, концы которой герметизированы эпоксидным компаундом; выводы — проволоочные.

У конденсаторов МПГ-П и МПГ-Т корпуса такие же, как у конденсаторов МБГП и КБГ-МН; выводные изоляторы — керамические.

Фторопластовые конденсаторы. В конденсаторах ФТ (рис. 45) в качестве диэлектрика применена пленка из фторопласта-4. Обкладки сделаны из алюминиевой фольги толщиной 7,5 м. Намотанные для этих конденсаторов сек-

ции цилиндрической формы прогреваются при температуре до 300°C , чем обеспечивается запекание слоев диэлектрика по краям и плотное прилегание к нему фольги. Корпус конденсатора ФТ цилиндрический, выполнен из алюминия и имеет по торцам крышки из фторопласта-4. Крышки крепятся к корпусу завальцовкой краев корпуса после установки в него секций. В центре крышки укреплены лепестки, с помощью которых конденсатор включается в цепь. Выводы от обкладок сделаны в виде лент и приварены к лепесткам. Диаметр корпуса конденсатора 19—37 мм и длина 32—73 мм. В таком исполнении конденсатор ФТ выпускается с номинальной емкостью от 0,03 до 0,5 мкф на номинальное рабочее напряжение постоянного тока 200 в и с номинальной емкостью от 0,02 до 0,25 мкф на номинальное рабочее напряжение постоянного тока 600 в.

У конденсаторов ФТ с емкостями от 510 пф до 0,025 мкф на номинальное рабочее напряжение 200 в и от 510 пф до

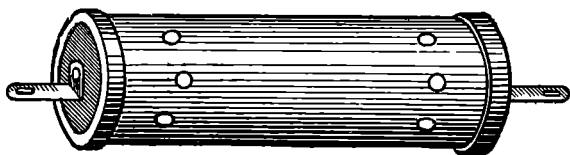


Рис. 45. Фторопластовый конденсатор ФТ

0,015 мкф на напряжение 600 в выводы проволочные диаметром 0,5—0,6 мм. В зависимости от емкости эти конденсаторы имеют диаметр от 6 до 16 мм и длину от 14 до 26 мм.

Конденсаторы ФТ по своим габаритным размерам несколько больше бумажных конденсаторов с теми же номинальными емкостями и рабочими напряжениями.

В конденсаторе ФГТ в качестве диэлектрика также применена пленка из фторопласта-4, но его секции заключены в герметический стальной корпус с изоляторами. Корпус и изоляторы имеют конструкцию, аналогичную корпусу и изоляторам у конденсаторов БГТ. Размер корпуса конденсатора ФГТ $45 \times 35 \times 54$ мм.

Высоковольтный конденсатор ФГТ-И (рис. 46) также имеет диэлектрик из фторопласта-4. Его секции соединены последовательно (чем больше рабочее напряжение, тем больше секций) и заключены в цилиндрический трубчатый керамический корпус с приваренными по концам с помощью стекла колпачками из ковара. Этим обеспечивается

надежная вакуумплотная герметизация корпуса в широком диапазоне рабочих температур конденсатора. Для предотвращения электрического перекрытия между обкладками по закраинам и ионизации газа в прослойках между слоями диэлектрика и фольги корпус конденсатора наполнен азо-

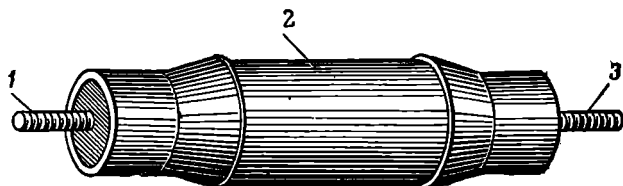


Рис. 46. Фторопластовый конденсатор ФГТ-И:
1 — контактный вывод; 2 — керамика; 3 — контактный вывод

том под давлением 5—10 *ати*. Коваровые колпачки одновременно являются контактными выводами обкладок.

В зависимости от емкости и номинального рабочего напряжения корпус конденсатора ФГТ-И имеет диаметр от

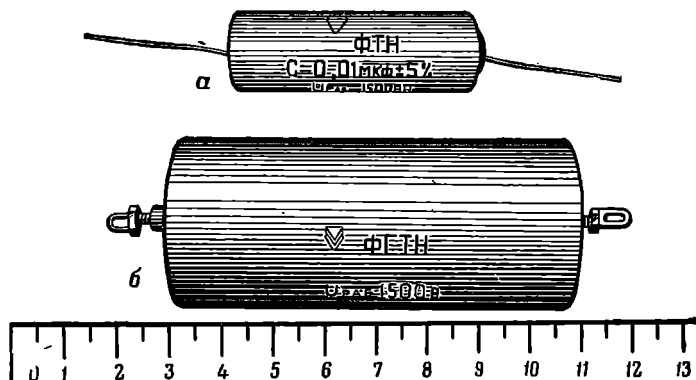


Рис. 47. Фторопластовые конденсаторы:
а — ФТН; б — ФГТН

23 до 51 *мм* и длину от 100 до 156 *мм*. Конденсаторы этого типа могут работать в импульсном режиме; они применяются, в частности, в цепях формирования импульсов радиолокационной аппаратуры.

Фторопластовый конденсатор ФТН (рис. 47) имеет алюминиевый корпус цилиндрической формы. Выводы конденсатора проволочные, они выходят из торцов конденсатора

сквозь шайбы из специальной резины, обеспечивающие герметизацию конденсатора. Шайбы укреплены в корпусе путем завальцовки краев корпуса.

Конденсатор ФГТН (рис. 47) отличается от конденсатора ФТН тем, что его корпус герметически запаян, а выводы сделаны в виде металлических контактных лепестков, укрепленных на керамических изоляторах, расположенных на торцах корпусов.

9. Электролитические конденсаторы

Электролитические конденсаторы используются главным образом в цепях питания радиотехнической и электронной аппаратуры. Наибольшее распространение имеют так называемые сухие электролитические конденсаторы.

Диэлектриком в сухом электролитическом конденсаторе служит тонкий слой окиси, отложенный электрохимическим методом на поверхности ленты из алюминиевой или танталовой фольги (Al_2O_3 или Ta_2O_5 соответственно). Применяемая в отечественных электролитических конденсаторах алюминиевая фольга имеет толщину 50—150 μ , а танталовая — 12—15 μ . Для обеспечения хороших диэлектрических свойств слоя окиси содержание посторонних примесей в алюминиевой фольге не должно превышать 0,01—0,05%, а в танталовой — 0,6%. Толщина слоя окиси равна 0,01—1,5 μ в зависимости от того, на какое рабочее напряжение рассчитан конденсатор. При этом для одних и тех же рабочих напряжений слой окиси тантала может быть меньше, так как электрическая прочность этой пленки выше, чем пленки окиси алюминия. Диэлектрическая проницаемость окиси алюминия около 9—10, а окиси тантала около 12.

Фольга образует одну из обкладок конденсатора. Другой его обкладкой служит специальная (так называемая прокладочная) бумага толщиной 30—100 μ . В малогабаритных электролитических конденсаторах применяется конденсаторная некаландрированная бумага. В некоторых конденсаторах применяется хлопчатобумажная ткань (батист, перкаль, вольта) толщиной 100—120 μ или стеклоткань толщиной 80—100 μ . Бумага или ткань пропитывается пастообразным электролитом и всей своей поверхностью прилегает к покрытой окисью поверхности фольги (рис. 48, а). Электролит должен обладать свойством образовывать и восстанавливать окись металла. В сухих электролитических конденсаторах с диэлектриком в виде окиси алюминия

применяется электролит, содержащий борную кислоту, аммиак, этиленгликоль и некоторые другие компоненты. Чтобы электролит не замерзал при низких температурах (от -40 до -60°C), в него добавляют этиловый спирт. В конденсаторах с танталовой фольгой может быть использован электролит на основе едкого лития или азотнокислого аммония с метилгликолем.

В конденсаторах на относительно большие рабочие напряжения применяется по два или больше слоев прокладочной бумаги или ткани.

Токоотводом к пропитанной бумаге или ткани служит вторая лента из фольги, не имеющая искусственно созданного слоя окиси. Если лента со слоем окиси алюминиевая, вторая лента может быть также алюминиевой толщиной $7,5\text{--}16\text{ }\mu$ или свинцово-оловянистой. В состав второй алюминиевой ленты может входить до $0,4\%$ примесей. Если же первая лента танталовая, то вторая лента может быть так же из тантала или из ниобия. Обе фольговые ленты вместе с бумажной или тканевой прокладкой свертываются в рулон, который заключается в кожух (обычно металлический).

Распространенные в радиотехнической и электронной аппаратуре электролитические конденсаторы могут работать только в цепях постоянного или пульсирующего тока, т. е. они полярны. При этом положительный полюс напряжения должен всегда включаться на фольгу со слоем окиси, следовательно, эта лента из фольги является анодом конденсатора. Заметим, что только при указанной полярности напряжения обеспечиваются условия для непрерывного поддержания диэлектрического слоя на поверхности алюминиевой или танталовой фольги за счет действия электролита. Если же напряжение включено в обратной полярности, слой окиси быстро разрушается и через конденсатор проходит большой ток, конденсатор практически оказывается замкнутым накоротко*.

Важнейшим преимуществом электролитических конденсаторов является их небольшой объем на единицу емкости по сравнению с конденсаторами с диэлектриками всех других типов; главные недостатки: повышенный ток утечки,

* В последнее время начинают применяться неполярные электролитические танталовые конденсаторы, т. е. работоспособные при любом направлении включения напряжения. Это достигается формовкой слоя окисла на обоих электродах, т. е. любой из них может быть анодом.

большая зависимость емкости от температуры и относительно небольшой срок службы (при понижении температуры их емкость уменьшается).

С целью уменьшения габаритов электролитических конденсаторов с алюминиевыми анодами поверхности анодов до формовки слоя окисла искусственно увеличивают путем электролитического травления. При этом на поверхности фольги образуются впадины и выступы, что увеличивает емкость конденсаторов на единицу поверхности анода, однако из-за этого резко уменьшается емкость конденсатора при снижении окружающей температуры.

Так как пленка окиси тантала обладает большей диэлектрической проницаемостью и меньшей толщиной при тех же рабочих напряжениях, объем конденсатора с танталовым анодом (его сокращенно называют танталовым конденсатором) на единицу емкости может быть меньше, чем объем конденсатора с алюминиевым анодом. Кроме того, танталовые конденсаторы могут работать при температурах до 100°C (в то время как рабочая температура конденсаторов с алюминиевыми анодами обычно не превышает $60\text{--}70^{\circ}\text{C}$), их емкость при изменении температуры изменяется в меньших пределах, токи утечки у них меньше.

При использовании электролитических конденсаторов в цепях с низкими напряжениями необходимо учитывать, что за счет происходящих в них электрохимических явлений на выводах этих конденсаторов всегда существует э. д. с. (до $0,3\text{--}0,4\text{ в}$).

Холодоустойчивость и теплоустойчивость электролитических конденсаторов. За нижний предел рабочей температуры $t_{\text{мин}}$ электролитических конденсаторов с алюминиевыми анодами принимают такую температуру, при которой их емкость уменьшается не более чем в 2 раза по сравнению с номинальной емкостью (для конденсаторов на рабочие напряжения меньше 8 в допускается снижение емкости на 60%). Соответственно с этим конденсаторы с алюминиевыми анодами разделяются по холодоустойчивости (морозоустойчивости) на следующие группы:

Н — Неморозоустойчивые (с минимальной рабочей температурой -10°C).

М — Морозоустойчивые (с минимальной рабочей температурой -40°C).

ПМ — Повышенной Морозоустойчивости (с минимальной рабочей температурой -50°C).

ОМ — Особо Морозоустойчивые (с минимальной рабочей температурой -60°C).

Неморозоустойчивые конденсаторы применяются только в аппаратуре, постоянно работающей в комнатных условиях.

Конденсаторы групп Н и М имеют травленные аноды, а конденсаторы групп ПМ и ОМ слаботравленные или нетравленные (гладкие) аноды. В связи с этим габариты конденсаторов групп ПМ и ОМ больше габаритов однотипных конденсаторов групп Н и М, имеющих такие же емкости и номинальные рабочие напряжения.

Однако электролитические конденсаторы повышенной морозоустойчивости и особо морозоустойчивые имеют следующие дополнительные преимущества по сравнению с конденсаторами групп Н и М: емкость конденсаторов групп ПМ и ОМ при наивысшей рабочей температуре ($60-70^{\circ}\text{C}$) увеличивается не более чем на 15% по сравнению с величиной, измеренной в нормальных условиях, в то время как емкость конденсаторов групп Н и М при той же температуре может возрасти на 30%. Кроме того, конденсаторы групп ПМ и ОМ могут нормально работать при относительно больших величинах переменной составляющей напряжения (объем их больше и они могут рассеять большую мощность переменного тока).

Емкость отечественных сухих электролитических конденсаторов с танталовыми анодами при -60°C уменьшается по сравнению с емкостью, измеренной в нормальных условиях, обычно не больше чем на 20—30% (только у некоторых образцов танталовых конденсаторов на рабочие напряжения менее 10 в наблюдается снижение емкости на 40—45%). При 100°C емкость этих конденсаторов увеличивается не больше, чем емкость электролитических конденсаторов с алюминиевыми анодами при 60°C .

Типы электролитических конденсаторов. К числу отечественных электролитических сухих конденсаторов относятся:

КЭ — Конденсатор Электролитический с алюминиевым анодом.

ЭГЦ — конденсатор Электрический Герметизированный в Цилиндрическом корпусе с алюминиевым анодом.

КЭГ — Конденсатор Электролитический Герметизированный с алюминиевым анодом.

ЭМ — конденсатор Электролитический Малогабаритный с алюминиевым анодом.

ЭТ — конденсатор Электролитический с Танталовым анодом.

Все эти конденсаторы работоспособны при разрежении атмосферы до 5 мм рт. ст. и при относительной влажности окружающей среды до 98%. Их основные электрические характеристики приведены в табл. 17.

Ток утечки электролитического конденсатора (в микроамперах) при номинальном рабочем напряжении U_n можно вычислить по следующей эмпирической формуле:

$$I \leq kCU_n + m,$$

где C — емкость конденсатора в микрофарадах.

Коэффициенты k и m зависят от типа конденсатора, номинальной емкости и температуры, для которой производится вычисление тока утечки.

Для конденсаторов КЭ, ЭГЦ и КЭГ:

$k=0,1$ при $t=20^\circ\text{C}$,

$k=0,2$ при $t=60^\circ\text{C}$,

$m=0,2$ при $C \leq 5$ мкф,

$m=0,1$ при $C=10-50$ мкф,

$m=0$ при $C > 50$ мкф.

Для конденсаторов ЭМ:

$k=0,2$ при $t=20^\circ\text{C}$,

$k=0,5$ при $t=70^\circ\text{C}$,

$m=3$ при всех емкостях.

Для конденсаторов ЭТ:

$k=0,05$ при $t=20^\circ\text{C}$,

$k=0,35$ при $t=100^\circ\text{C}$,

$m=0$ при всех емкостях.

Ток утечки электролитических конденсаторов устанавливается примерно через 1,5—2 мин после включения их под напряжение. В момент включения он может быть значительно больше.

Наибольшая допустимая амплитуда переменной составляющей с частотой 50 гц по отношению к номинальному рабочему напряжению для конденсаторов ЭМ составляет 20%. При больших частотах допустимая амплитуда переменной составляющей уменьшается обратно пропорционально частоте.

Наибольшая допустимая амплитуда переменной составляющей с частотой 50 гц для конденсаторов КЭ, ЭГЦ и КЭГ приведена в табл. 18. При частоте 100 гц допускается амплитуда вдвое меньше. Для конденсаторов ЭТ соответствующие величины даны в табл. 19.

При повышенных частотах переменной составляющей емкость электролитических конденсаторов несколько снижается.

Конденсаторы с алюминиевыми анодами. Электролитические конденсаторы КЭ и ЭГЦ конструктивно оформлены

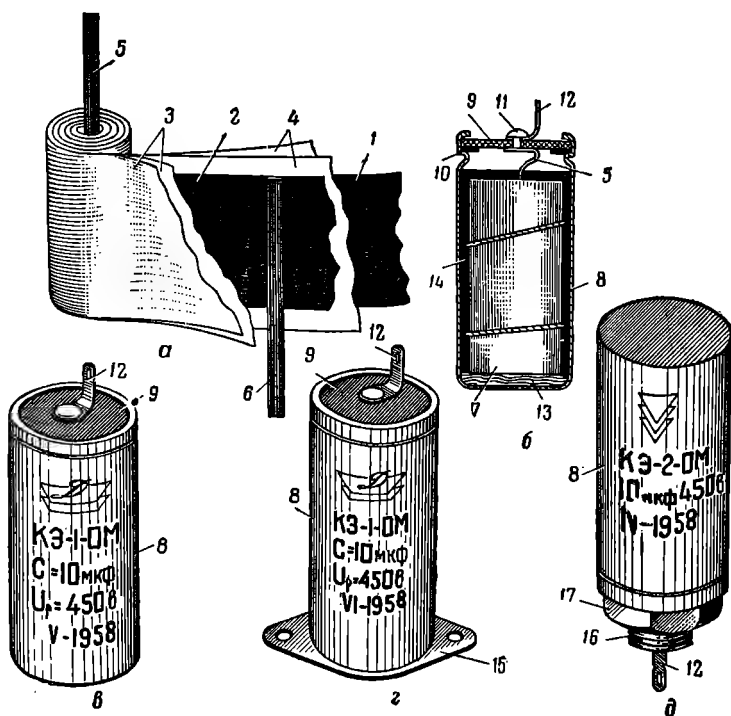


Рис. 48. Электролитические конденсаторы с алюминиевыми анодами:

а — устройство секции; *б* — разрез конденсатора КЭ-1; *в* — общий вид конденсатора КЭ-1а; *г* — общий вид конденсатора КЭ-1б; *д* — общий вид конденсатора КЭ-2; 1 и 2 — алюминиевая фольга; 3 и 4 — бумага; 5 и 6 — выводы; 7 — бумажная обертка; 8 — алюминиевый корпус; 9 — текстолитовая крышка; 10 — уплотняющее резиновое кольцо; 11 — заклепка; 12 — вывод анода; 13 — бумажные прокладки; 14 — заливка компаундом; 15 — фланец для крепления к панели; 16 — втулка с резьбой из пластмассы; 17 — гайка для крепления

в алюминиевых штампованных цилиндрических корпусах. Обе фольговые ленты в этих конденсаторах алюминиевые, прокладки бумажные. Конденсаторы КЭ имеют четыре конструктивные разновидности: КЭ-1а, КЭ-1б, КЭ-2 и КЭ-3. Корпусы конденсаторов первых трех видов представляют собой стаканы (рис. 48). С ними электрически соединены

катоды. К донышку стакана конденсатора КЭ-16 (рис. 48, г) приварен алюминиевый фланец с отверстиями, служащими для крепления стакана в аппаратуре винтами с гайками или заклепками. Конденсатор КЭ-1а (рис. 48, в) приспособлений для крепления не имеет и укрепляется в аппаратуре с помощью хомута, обхватывающего корпус конденсатора. Крышка корпуса конденсаторов КЭ-1а и КЭ-16 выполнена из листового текстолита и укреплена завальцовкой борта корпуса с прокладкой резинового кольца. На крышке расположен контактный лепесток, к которому присоединен анодный вывод конденсатора.

Конденсатор КЭ-2 (рис. 48, д) вместо текстолитового диска имеет пластмассовую втулку с резьбой. Контактный лепесток, соединенный с анодом конденсатора, проходит сквозь втулку. Для крепления конденсатора КЭ-2 в монтажной панели прорезается отверстие по внешнему диаметру резьбы на втулке; втулка вставляется в это отверстие и на резьбу навинчивается металлическая гайка. Корпусы конденсаторов КЭ-1 и КЭ-2 имеют диаметр от 16 до 65 мм и высоту от 28 до 114 мм (в зависимости от рабочего напряжения и емкости).

Корпус конденсатора КЭ-3 представляет собой алюминиевую трубку. Выводы от анода и катода проволочные, изолированные от корпуса. Конденсаторы последнего вида встречаются в аппаратуре очень редко.

Конденсатор ЭГЦ по конструкции подобен конденсатору КЭ-1а, но крышка его корпуса сделана из алюминия. В центре крышки расположен стеклянный изолятор с контактным лепестком, к которому присоединен вывод анода. Для соединения катода с конденсатором на корпусе конденсатора имеется второй контактный лепесток.

Конденсатор КЭГ заключен в корпус из листовой стали. Корпус конденсатора КЭГ-1 имеет такую же конструкцию, как и корпус конденсатора КБГ-МП (рис. 30), а корпус конденсатора КЭГ-2 как корпус конденсатора КБГ-МН (рис. 31). Анод конденсатора КЭГ выведен к контактному лепестку, расположенному на стеклянном изоляторе, а катод соединен с корпусом конденсатора. Контактный лепесток для припайки монтажного проводника к корпусу (кату) конденсатора приваривается рядом с выводным изолятором. У конденсатора КЭГ-1 изолятор и лепестки могут быть расположены на верхней крышке корпуса (вариант В), на его боковой стенке (вариант Б) или на дне корпуса

(вариант Н): У конденсатора КЭГ-2 изолятор и лепестки всегда расположены на верхней крышке.

Корпус конденсаторов ЭМ (рис. 49) представляет собой алюминиевую гильзу диаметром от 4,5 до 8,5 мм и длиной от 15 до 35 мм. Вес конденсатора этого типа всего 2—4,5 г. Анодная алюминиевая фольга приварена к алюминиевому стержню, расположенному по оси корпуса. Конеч

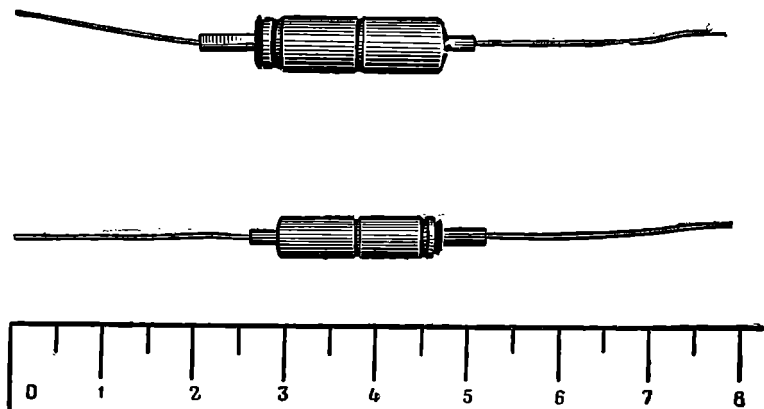


Рис. 49. Малогабаритные электролитические конденсаторы ЭМ

стержня выходит из корпуса наружу. Его продолжением является медный луженый вывод, служащий для включения анода конденсатора в схему. Анодный вывод изолирован от корпуса резиновой пробкой. Катодная токоотводящая фольга конденсатора — свинцово-оловянистая; она соединена с корпусом. Второй проволочный вывод служит для включения корпуса конденсатора в схему.

Конденсаторы ЭМ выпускаются с номинальными емкостями от 0,5 до 50 мкф на рабочие напряжения, указанные в табл. 17 (меньшие емкости имеют конденсаторы с большими рабочими напряжениями и наоборот); особоморозостойчивые конденсаторы группы ОМ изготавливаются только на рабочие напряжения 20, 60 и 100 в с номинальной емкостью не более 5 мкф.

Удельная емкость конденсаторов ЭМ на низкие рабочие напряжения достигает 100 мкф/см³.

Танталовые конденсаторы. Электролитический сухой танталовый конденсатор ЭТ (рис. 50) оформлен в алюминиевой

цилиндрической трубке, концы которой залиты эпоксидным компаундом. Проволочные выводы расположены по оси конденсатора. Вывод анода обозначен красным, а вывод катода — синим пояском. Конденсаторы ЭТ выпускаются с номинальной емкостью от 2 до 500 *мкф* и имеют меньшие габариты, чем конденсаторы с алюминиевыми анодами (КЭ, ЭГЦ) на такую же номинальную емкость и с теми же рабочими напряжениями. Корпус конденсатора ЭТ имеет диаметр от 8,5 до 19 *мм* и длину от 35 до 79 *мм*.

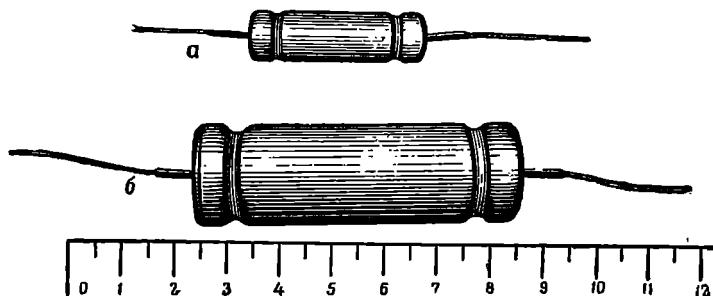


Рис. 50. Танталовые электролитические конденсаторы:
а — ЭТ; б — ЭТН

Как видно из табл. 17, емкость конденсатора ЭТ на рабочее напряжение от 60 *в* и выше меньше изменяется в диапазоне рабочих температур.

Конденсатор ЭТН (Электролитический Танталовый Неполлярный) имеет подобное же устройство, как и конденсатор ЭТ, но в нем обе танталовые ленты имеют оксидный слой. В связи с этим положительный или отрицательный потенциал может подаваться на любую из обкладок этого конденсатора, чем и определяется его неполярность (оба вывода имеют красные пояски). Основные характеристики ЭТН такие же, как и для конденсаторов ЭТ. Корпус конденсатора ЭТН имеет диаметр 14 или 19 *мм* при длине от 46 до 79 *мм*. Номинальная емкость конденсатора до 100 *мкф*.

Конденсаторы с объемно-пористыми анодами. От всех описанных выше типов электролитических конденсаторов резко отличаются по своему устройству конденсаторы с объемно-пористыми танталовыми анодами. Габариты их значительно меньше габаритов фольговых танталовых кон-

денсаторов. Представителем танталовых конденсаторов с объемно-пористыми анодами является конденсатор ЭТО (рис. 51). Он имеет металлический грибовидный корпус, наполненный жидким кислотным электролитом. Высота корпуса конденсатора ЭТО 11 мм и диаметр 14 мм. Вес конденсатора около 6 г. Анод конденсатора имеет форму цилиндра, спрессованного из мелких зерен тантала и подвергнутого обжигу в вакууме для спекания зерен между собой. Вследствие пористой структуры анода его действующая поверхность, принимающая участие в создании емкости, в 40—50 раз больше геометрической поверхности цилиндра. Диэлектриком служит тонкая пленка окисла на поверхностях зерен, к которым проникает электролит. Вывод от анода выполнен в виде лепестка, изолированного от корпуса кольцевыми прокладками из специальной кислотостойкой резины и стеклотекстолита. Катодом конденсатора ЭТО служит наполняющий его электролит, а выводом катода — корпус конденсатора. Для удобства включения катода конденсатора в схему ко дну его корпуса приварен медный луженый проводник.

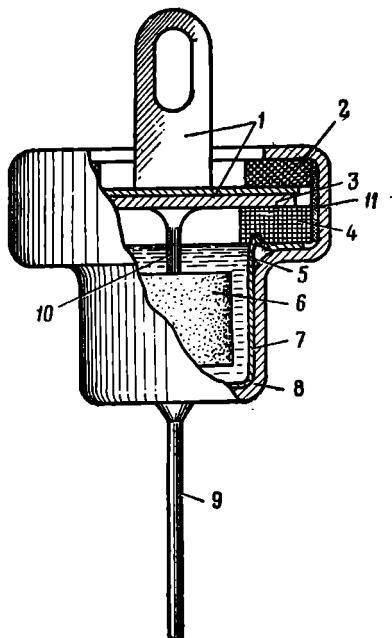


Рис. 51. Электролитический танталовый конденсатор с объемно-пористым анодом:

1 — вывод анода; 2 — текстолитовое кольцо; 3 — танталовая крышка; 4 — резиновое кольцо; 5 — электролит; 6 — анод; 7 — вкладыш из химически стойкого металла; 8 — стальной корпус; 9 — вывод катода; 10 — танталовый стержень; 11 — кольцо из фторопласта-4

На каждое рабочее напряжение конденсатор ЭТО выпускается только с одной номинальной емкостью: 4 в — 80 мкф, 10 в — 50 мкф, 15 в — 30 мкф, 30 в — 20 мкф, 50 в — 15 мкф и 70 в — 10 мкф.

Ток утечки конденсаторов ЭТО на номинальные рабочие напряжения 4—15 в при 20° С 0,1—2 мка, а на большие рабочие напряжения не превышает 3 мка. При увеличении температуры ток утечки возрастает, но все же остается

меньше, чем у электролитических сухих конденсаторов с алюминиевыми и танталовыми фольговыми анодами на такие же номинальные рабочие напряжения и емкости. Так, при 70°C у конденсаторов ЭТО на рабочие напряжения до 15 в ток утечки не больше 5 мка, а у конденсаторов на более высокие рабочие напряжения — не более 15 мка; при 100°C ток утечки конденсаторов ЭТО тех же групп рабочих напряжений соответственно не превышает 15 и 50 мка.

Предельная амплитуда переменной составляющей напряжения для конденсаторов ЭТО при 100°C приведена в табл. 19. При 50°C амплитуда переменной составляющей может быть увеличена в 2 раза по сравнению с указанной в таблице (при частоте 50 гц — в 1,5 раза).

Конденсатор ЭТО работоспособен и при более высокой температуре, но не выше 150°C при условии снижения рабочего напряжения постоянного тока на 30% по сравнению с номинальным.

Эксплуатация электролитических конденсаторов. При работе электролитических негерметизированных конденсаторов с алюминиевыми анодами под напряжением происходит испарение воды и других летучих компонентов из электролита. Вследствие этого ухудшаются диэлектрические свойства оксидного слоя на анодной фольге, приводящие к уменьшению емкости конденсаторов, увеличению их тока утечки и тангенса угла потерь. В нормальных условиях через 10 000 час работы емкость конденсаторов уменьшается примерно на 30%. В условиях повышенной температуры окружающей среды и пониженного давления этот процесс ускоряется.

При работе негерметизированных конденсаторов в атмосфере с повышенной влажностью влага поглощается электролитом, вследствие чего несколько увеличиваются их емкость и ток утечки. В конденсаторах, работающих под большими напряжениями, рост тока утечки может привести к прогрессирующему перегреву конденсаторов, при котором оксидный слой на анодной фольге разрушается и конденсаторы выходят из строя.

У герметизированных конденсаторов эти явления не наблюдаются. Однако при длительной работе конденсаторов КЭГ и ЭГЦ в атмосфере с повышенной температурой вследствие повышения внутри их корпусов давления газов, выделяющихся из электролита при работе конденсаторов, может произойти нарушение паяных швов корпусов. В дальнейшем такие конденсаторы работают как негерметические и их па-

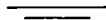
параметры быстро ухудшаются*. Из-за этих недостатков в аппаратуре ответственного назначения, рассчитанной на длительную работу, не следует применять электрические конденсаторы КЭГ и ЭГЦ, а тем более конденсаторы КЭ.

При повышении давления в конденсаторах ЭМ газы выходят наружу между анодным выводом и резиновой трубкой, изолирующей вывод от корпуса.

При длительном пребывании электролитических конденсаторов без напряжения (в бездействующей аппаратуре или на складе) оксидный слой на анодах конденсаторов ослабляется («расформовывается») за счет его растворения электролитом. Поэтому ток утечки конденсаторов при включении их в работу возрастает. Негерметизированные конденсаторы во влажной атмосфере расформовываются быстрее и при включении на них напряжения могут выйти из строя по указанной выше причине.

Для сохранения годности электролитических конденсаторов, хранимых на складе длительное время в бездействующем состоянии, рекомендуется через каждые 2—3 месяца их подформовывать, включая на 10—30 мин под номинальное рабочее напряжение. С той же целью рекомендуется периодически включать бездействующую (законсервированную) аппаратуру, в которой применяются электролитические конденсаторы.

Опыта по длительному хранению электролитических конденсаторов с танталовыми анодами пока еще недостаточно. Однако есть основания предполагать, что эти конденсаторы значительно лучше сохраняют свои характеристики по сравнению с конденсаторами с алюминиевыми анодами.



* У конденсаторов КЭГ выпуска до 1952—1953 гг. есть клапаны — отверстия в корпусах, запаянные тонкой медной фольгой. Предполагалось, что при повышении давления газа внутри корпуса фольга должна прорываться. Однако на практике эти клапаны часто не оправдывали своего назначения: газы разрывали швы корпуса, а клапаны выдерживали давление. В настоящее время такие клапаны на корпусах больше не делают.

СОПРОТИВЛЕНИЯ

1. Основные параметры непроволочных постоянных сопротивлений

Непроволочные сопротивления широко распространены в радиотехнической и электронной аппаратуре главным образом по следующим причинам: они имеют по сравнению с проволочными сопротивлениями значительно меньшие размеры, обладают незначительной индуктивностью и собственной емкостью, величина их активного сопротивления не изменяется в широком диапазоне частот, они просты в производстве и дешевы.

Однако по стабильности при длительном воздействии электрической нагрузки, при изменении температуры и влажности окружающей среды, а также во времени непроволочные сопротивления уступают проволочным.

Классификация сопротивлений. Непроволочные сопротивления для радиоаппаратуры классифицируются по следующим основным характеристикам: по типу (конструкции), по номинальной мощности, по номинальному активному сопротивлению, по классу точности.

При этом непроволочные сопротивления одного и того же типа разделяются на группы по величине электрических шумов, а отдельные типы сопротивлений с данными номинальными мощностями характеризуются также максимальными рабочим и испытательным напряжениями постоянного и переменного токов, импульсным напряжением, температурным коэффициентом и рядом других параметров, о которых мы скажем ниже.

Номинальная мощность и предельное рабочее напряжение. Номинальной мощностью называется наибольшая мощность постоянного и переменного токов, которую сопротивление может длительное время рассеивать, не изменяя

существенно своей электрической величины. В радиотехнической аппаратуре наибольшее распространение имеют непроволочные постоянные сопротивления ВС и МЛТ с номинальными мощностями 0,25; 0,5; 1 и 2 вт.

На сопротивлении R рассеивается номинальная мощность $P_{\text{ном}}$, когда на нем падает напряжение постоянного или переменного тока

$$U = \sqrt{RP_{\text{ном}}},$$

где U — в вольтах, R — в омах и $P_{\text{ном}}$ — в ваттах.

В случае синусоидального переменного тока по этой формуле получается эффективное значение напряжения.

Однако для каждого типа непроволочного сопротивления с данной номинальной мощностью $P_{\text{ном}}$ существует некоторое предельное напряжение, при превышении которого может возникнуть перекрытие (электрическая дуга, искровой разряд) между частями сопротивления. Чем больше длина сопротивления, тем больше и предельное для него напряжение. При увеличении разрежения окружающей атмосферы (при понижении атмосферного давления) предельное напряжение уменьшается.

Для каждого типа непроволочного сопротивления с данной $P_{\text{ном}}$ существует критическое активное сопротивление, выше которого сопротивление работает под нагрузкой меньше номинальной мощности, а ниже — при напряжении меньше предельного. При более глубоких разрежениях окружающей атмосферы это критическое сопротивление меньше. Для сопротивлений широкого применения (ВС и МЛТ) критические величины порядка от сотен тысяч ом до мегом.

Номинальная мощность сопротивления определяется наибольшей допустимой температурой его нагрева и зависит от его конструкции (поверхности, материалов и т. п.). Температура нагрева складывается из температуры окружающей среды и температуры перегрева сопротивления — количества градусов, на которое его температура превышает температуру окружающей среды.

Для непроволочного сопротивления каждого типа существует определенная наибольшая температура окружающей среды, до которой его можно нагружать номинальной мощностью. При более высокой температуре окружающей среды во избежание чрезмерного нагрева сопротивления рассеиваемая на сопротивлении мощность постоянного или пере-

менного тока должна снижаться. Так, для постоянных не-
проволочных сопротивлений ВС и МЛТ необходимо снижать
мощность на 1,5% на каждый градус повышения темпе-
ратуры сверх 40° С для сопротивлений ВС и сверх 70° С для
сопротивлений МЛТ. При работе сопротивлений в разре-
женной атмосфере, где условия теплоотдачи сопротивлений
хуже, чем при нормальном атмосферном давлении, мощ-
ность также приходится снижать.

Кроме того, для каждого типа непроволочного сопротив-
ления существует определенная максимальная рабочая тем-
пература, превышение которой в эксплуатации не рекомен-
дуется.

Заметим, что, если непроволочные сопротивления нагру-
жают мощностью выше номинальной или они работают при
температуре выше рекомендуемой максимальной, срок
службы сопротивлений сокращается. Однако если приме-
нить принудительное охлаждение сопротивлений или поме-
стить их в сухое масло, они могут работать длительное
время при мощности постоянного или переменного тока,
превышающей номинальную в 10 раз и больше.

Чтобы непроволочные сопротивления надежно работали
под импульсной нагрузкой, рассеиваемая на них средняя
мощность должна быть ниже номинальной (для сопротив-
лений ВС в 2 раза и для сопротивлений МЛТ в 10 раз),
хотя при этом мощность в импульсе может значительно
превышать номинальную, а амплитуда напряжения в им-
пульсе может быть в несколько раз больше предельного
напряжения. Так, для сопротивлений ВС и МЛТ допу-
скается мощность в импульсе в 1000 раз больше номиналь-
ной, а амплитуда импульсного напряжения в зависимости
от номинальной мощности в 1,7—3,4 раза больше предель-
ного напряжения постоянного или переменного тока.

Номинальное активное сопротивление и класс точности.
Класс точности определяет наибольшее возможное откло-
нение действительной величины активного сопротивления
от маркированной на нем номинальной величины. Вели-
чину этого отклонения называют также допуском.

Постоянные непроволочные сопротивления широкого
применения выпускаются по трем классам точности: класс I
(наиболее высокий класс точности) — с наибольшим воз-
можным отклонением от номинальной величины активного
сопротивления $\pm 5\%$, класс II — с наибольшим возможным
отклонением $\pm 10\%$ и класс III — с наибольшим возмож-

ным отклонением $\pm 20\%$. Эти предельные допуски относятся к нормальным условиям.

Установленные ГОСТ и наиболее распространенные номинальные величины (номиналы) постоянных и переменных непроволочных сопротивлений отечественного производства приведены в табл. 20 (см. стр. 163).

На заводах-изготовителях постоянные непроволочные сопротивления отбраковываются обычно так, что фактическое отклонение от номинальной величины у сопротивлений, выпускаемых по классу точности I, не превышает $\pm (3,5-4,5)\%$, по классу точности II — не более $\pm (8-9)\%$ и по классу точности III — не выходит за пределы $\pm (17-18)\%$. Это необходимо по следующим соображениям. В течение некоторого времени после выпуска сопротивлений с завода наблюдается их старение — величина их активного сопротивления в некоторых пределах необратимо изменяется. Если выпускать сопротивления с предельными допусками, т. е. соответствующими наибольшим отклонениям, установленным для различных классов точности, через некоторое время величины активного сопротивления некоторого количества образцов могут оказаться за пределами этих допусков.

У большинства низкоомных непроволочных сопротивлений сразу после их выпуска начинается увеличение активного сопротивления. Этот процесс старения завершается в основном в первые полгода — год, в течение которых величина активного сопротивления у ВС и МЛТ изменяется обычно не более чем на 1% от первоначальной. У большинства высокоомных сопротивлений этих типов в течение нескольких первых месяцев после их выпуска с завода (иногда в течение года и больше) наблюдается уменьшение величины активного сопротивления, не превышающее, как правило, нескольких десятых долей процента. При этом у сопротивлений МЛТ это уменьшение меньше, чем у сопротивлений ВС, а у некоторых образцов МЛТ оно вовсе не наблюдается. По истечении указанного срока величина высокоомного сопротивления начинает возрастать. Заметим, что полной закономерности в этих явлениях все же нет.

Применимость сопротивлений, выпущенных с допусками по различным классам точности, определяется местом применения их в схеме. Если даже относительно большое изменение величины сопротивления мало влияет на режим работы схемы (например, в развязывающих цепях), можно использовать сопротивление с допуском по классу точно-

сти III. В радиолокационной аппаратуре наиболее распространены непроволочные сопротивления с допуском по классу точности II. Сопротивления по классу точности I используют в цепях, от которых зависят временные параметры схемы, а также в цепях, которые должны устанавливать и поддерживать с повышенной точностью режимы работы ламп (например, сопротивления автоматического смещения).

Для прецизионных непроволочных сопротивлений, предназначенных для применения в измерительной аппаратуре и во временных цепях, вышеуказанные классы точности не применяются. Так, например, сопротивления УЛИ разделяются на следующие три класса точности: класс 1 — с наибольшим возможным отклонением от номинальной величины активного сопротивления $\pm 1\%$, класс 2 — с наибольшим возможным отклонением $\pm 2\%$ и класс 3 — с наибольшим возможным отклонением $\pm 3\%$. Прецизионные сопротивления БЛП и МГП с отклонением $\pm 0,5\%$ относят к классу точности 005, а с отклонением $\pm 1\%$ — к классу точности 01. До 1958 года сопротивления МЛП разделяли на класс I — с наибольшим допустимым отклонением от номинальной величины активного сопротивления $\pm 0,5\%$ и класс II — с наибольшим возможным отклонением $\pm 1\%$.

Температурный коэффициент. Электрическое сопротивление всякого проводника изменяется при изменении его температуры. Температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) называют величину, характеризующую относительное изменение активного сопротивления при изменении температуры на 1°C . Абсолютная величина температурного коэффициента непроволочных сопротивлений широкого применения различных типов не превышает $0,04\text{—}0,2\%$ на 1°C , при этом в области отрицательных температур ТКС обычно больше, чем в области положительных. У непроволочных сопротивлений, в которых в качестве токопроводящего материала используется углерод, ТКС, как правило, имеет отрицательные значения (при увеличении температуры сопротивление уменьшается); у непроволочных сопротивлений других типов ТКС может иметь как положительный, так и отрицательный знаки.

Прецизионные непроволочные сопротивления, предназначенные для применения в измерительной аппаратуре, по величине ТКС в интервале положительных рабочих температур разделяются на две группы:

группа А — с ТКС не более $\pm 0,01\%$ на 1°C ;

группа Б — с ТКС не более $\pm 0,02\%$ на 1°C .

Заметим, что из-за температурной зависимости величины активного сопротивления действительная величина сопротивления при температуре, отличающейся от нормальной ($20 \pm 5^\circ\text{C}$), может отклоняться от номинальной больше, чем это установлено маркированным на сопротивлении классом точности.

Коэффициент увлажнения. Вторым важным параметром, характеризующим стабильность непроволочных сопротивлений в эксплуатации, является коэффициент увлажнения (коэффициент влагостойкости). Он выражает относительное изменение активного сопротивления в результате предельного насыщения сопротивления влагой в процентах от величины, измеренной в нормальных условиях. Коэффициент увлажнения определяют, помещая сопротивления в камеру с относительной влажностью воздуха 95—98% при 40°C и измеряя величины их активного сопротивления в нормальных условиях до воздействия влаги и после извлечения сопротивлений из камеры. В указанных условиях поверхностные сопротивления насыщаются влагой до предела обычно в течение 24—48 часов. Однако сопротивления широкого применения принято выдерживать в камере влажности в течение 400 часов с тем, чтобы наряду с коэффициентом увлажнения определить стойкость к длительному воздействию влаги их контактных выводов.

Коэффициент увлажнения сопротивлений широкого применения (ВС и МЛТ) не превышает нескольких процентов, при этом у низкоомных сопротивлений он в большинстве случаев значительно меньше, чем у высокоомных.

Другие коэффициенты стабильности. Стабильность работы непроволочных сопротивлений в различных условиях может быть охарактеризована также другими параметрами. Наибольший интерес представляют следующие.

Коэффициент напряжения характеризует нелинейность активного сопротивления при изменении напряжения на нем. Для определения этого коэффициента сравнивают величины активного сопротивления, измеренные при напряжениях, соответствующих 2 и 200% номинальной мощности. Последняя величина должна быть измерена очень быстро, чтобы по возможности исключить ошибку, которая может возникнуть вследствие повышения температуры сопротивления при его перегрузке.

Коэффициент нагрузки характеризует нелинейность активного сопротивления при изменении рассеиваемой на нем мощности при работе в цепи постоянного или переменного тока. Чтобы определить этот коэффициент, сравнивают величины активного сопротивления при нагрузках, соответствующих 2 и 200% номинальной мощности. При этом сопротивления выдерживают под двойной нагрузкой некоторое время, достаточное для их прогрева. Так, сопротивления с номинальной мощностью до 0,5 *вт* принято выдерживать в течение 4 *мин*, мощностью 1 *вт* — 7 *мин* и мощностью 1 *вт* и более — 15 *мин*. Если напряжение, соответствующее двойной номинальной мощности, превышает максимально допустимое для данного сопротивления рабочее напряжение, то коэффициент нагрузки определяют при 10 и 100% максимального рабочего напряжения.

Коэффициент импульсной нагрузки характеризует изменение величины активного сопротивления при работе его в импульсных цепях. Этот коэффициент определяют, пропуская через непроволочное сопротивление в течение времени от 30 *мин* до 2 *час* (в зависимости от типа и вида сопротивления) прямоугольные или остроконечные импульсы напряжения, соответствующего 1000-кратному значению номинальной мощности, но не выше допустимого для данного типа или вида сопротивления предельного импульсного напряжения. При этом средняя рассеиваемая на сопротивлении мощность не должна превышать номинальной. После такого испытания величина активного сопротивления изменяется обычно не более чем на 2—3% по сравнению с величиной, измеренной до этого испытания.

Шумы сопротивлений. Токопроводящее вещество непроволочного сопротивления состоит из большого числа отдельных мелких контактирующих между собой частиц, образующих токопроводящие цепочки. Общая величина сопротивления определяется в значительной мере переходными сопротивлениями между этими частицами. Вследствие того что контакты между проводящими частицами непостоянны, переходные сопротивления между ними непрерывно и беспорядочно изменяются. В результате проходящий по непроволочному сопротивлению электрический ток также непрерывно и беспорядочно изменяется по величине. А это в свою очередь приводит к тому, что непрерывно изменяется и падение напряжения на сопротивлении: на его концах возникает переменная э. д. с. Когда непроволочное сопротивление работает в схеме, дающей усиление, то последующие

каскады усиливают эту э. д. с. вместе с полезным сигналом. При большом усилении на выходе устройства может получиться достаточно большое постороннее напряжение. Если на выход включен телефон (или громкоговоритель), то в нем будут слышны шумы. Шумы сопротивлений можно видеть и на экране индикатора радиолокационной станции. Поэтому переменная э. д. с., самопроизвольно возникающая на непроволочном сопротивлении, называется э. д. с. шумов, а описанное явление — шумами непроволочных сопротивлений.

При увеличении напряжения, приложенного к сопротивлению, э. д. с. шумов также увеличивается. Шумы непроволочных сопротивлений оценивают по величине э. д. с. шумов (возникающих на концах сопротивлений), отнесенной к одному вольту приложенного к сопротивлению напряжения постоянного тока.

Э. д. с. шумов принято измерять в полосе частот 50—5000 *гц* при нагрузке сопротивления полной номинальной мощностью (полоса частот определяется полосой пропускания усилителя, входящего в измерительное устройство).

По величине э. д. с. шумов непроволочные постоянные сопротивления делятся на две группы:

группа А — с э. д. с. шумов не более 1 *мкв/в*,

группа Б — с э. д. с. шумов не более 5 *мкв/в*.

Маркировка сопротивлений. На каждом непроволочном сопротивлении указывается его номинальная величина в омах, килоомах или мегомах. На малогабаритных сопротивлениях обозначение *ком* часто заменяется одной буквой *к*, а обозначение *Мом* — одной буквой *М*. Допустимое отклонение от номинальной величины может быть обозначено на сопротивлении либо в процентах, либо римской цифрой, указывающей на класс точности. Так, например, если на сопротивлении имеется маркировка «10к ± 10⁰‰», «10к 10⁰‰» или «10к II», значит, номинал этого сопротивления 10 *ком* и выпущено оно по классу точности II. Величина допуска ± 20 % или соответствующий ему класс точности III не ставится. Так, например, сопротивления, на которых имеются надписи «150», «22к», «1 М», имеют номиналы соответственно 150 *ом*, 23 *ком* и 1 *Мом*, и все они изготовлены по классу точности III.

Если измеренная э. д. с. шумов постоянного непроволочного сопротивления меньше 1 *мкв/в*, в его маркировку входит буква А. Если же измеренная э. д. с. шумов сопротивле-

ния выше 1 мкв/в, т. е. сопротивление выпущено по группе Б, обозначение группы на нем не ставится.

Номинальные мощности указываются только на непроволочных сопротивлениях больших габаритов (например, ВС-2, ВС-5, ВС-10). Для других сопротивлений эти мощности можно определить по размеру их корпуса, пользуясь приводимыми ниже таблицами 21, 22 и 23.

Обозначение постоянных непроволочных сопротивлений в технической документации. В спецификациях к схемам радиотехнической и электронной аппаратуры и в другой технической документации основные данные постоянных непроволочных сопротивлений указываются сокращенными записями в следующем порядке:

1. Наименование типа сопротивления.
2. Номинальная мощность в ваттах (или, как исключение, номинальное рабочее напряжение в киловольтах для высоковольтных сопротивлений).
3. Номер конструктивного варианта сопротивления (номер чертежа), если сопротивление данного типа и данной номинальной мощности выпускается в различных конструктивных исполнениях.
4. Номинальная величина сопротивления в омах, килоомах или мегомах.
5. Класс точности.
6. Группа по величине шумов (или, как исключение, группа ТКС для прецизионных сопротивлений).

Между всеми этими величинами и обозначениями ставятся дефисы.

Так, например, постоянное непроволочное сопротивление типа МЛТ с номинальной мощностью 0,5 Вт, с номинальной величиной активного сопротивления 39 Ом, с допустимым отклонением от номинала $\pm 10\%$ и имеющее э. д. с. шумов меньше 1 мкв/в в технической документации записывается так:

МЛТ-0,5-39 Ом-II-A.

Если все сопротивления какого-либо типа выпускаются только с одной номинальной мощностью, по одному классу точности или их э. д. с. шумов не регламентируется техническими условиями, соответствующие величины или буквенные индексы в обозначении отсутствуют. Так, например, прецизионное сопротивление МГП с номинальной мощностью 0,5 Вт, с номинальной величиной активного сопротивления 100 Ом, выпущенное по классу точности 01 (допуск $\pm 1\%$)

и с температурным коэффициентом по группе Б (ТКС не более $\pm 0,02\%$ на 1°C), записывается в технической документации следующим образом:

МГП-100 ком-01-Б.

Величина номинальной мощности здесь не указывается, поскольку все сопротивления МГП имеют номинальную мощность 0,5 Вт.

2. Типы непроволочных постоянных сопротивлений

Непроволочные сопротивления делятся по своей конструкции на объемные и поверхностные.

Объемные сопротивления. Основной частью объемного сопротивления является обладающий высоким удельным сопротивлением токопроводящий стержень (рис. 52), изготовленный из тонкоизмельченной смеси проводящего веще-



Рис. 52. Устройство объемного сопротивления:

1 — изоляционная оболочка; 2 и 3 — проволочные выводы;
4 — токопроводящий стержень

ства — чаще всего углерода (сажи, графита), изолирующего вещества и связующего вещества, придающего стержню монолитность. В торцы токопроводящего стержня впрессованы концы выводных проводников. Токопроводящий слой заключен в изоляционную оболочку цилиндрического или прямоугольного сечения из керамики или пластмассы.

Объемные сопротивления обладают высокой эксплуатационной надежностью, повышенной теплоустойчивостью и выносят большие кратковременные перегрузки. Однако они не получили до сих пор широкого распространения потому, что их активные сопротивления существенно зависят от величины приложенных напряжений, от частоты и от температуры (большой ТКС) и, кроме того, они создают значительные электрические шумы (у высокоомных объемных сопротивлений э. д. с. шумов обычно превышает $10 \frac{\text{мкВ}}{\text{В}}$).

К числу объемных сопротивлений относятся отечественные сопротивления ТВО (Термо-Влагостойкое Объемное).

Соппротивления ТВО изготовляются с номинальными мощностями от 0,25 до 60 *вт*, имея соответственно наименования ТВО-0,25—ТВО-60. Соппротивление ТВО любой номинальной мощности представляет собой стержень из токопроводящего вещества, заключенный в изоляционную оболочку прямоугольного сечения. Оболочка изготовлена также из стеклоэмали. В концы токопроводящего стержня сопротивлений ТВО-0,25—ТВО-20 впрессованы проволочные выводы (рис. 52). У сопротивлений ТВО-60 выводы выполнены в виде контактных лепестков.

Корпусы сопротивлений ТВО различных номинальных мощностей имеют следующие размеры:

ТВО-0,25 — $2 \times 3 \times 12,5$ мм,

ТВО-0,5 — $2 \times 3 \times 18,0$ мм,

ТВО-1 — $3,5 \times 4 \times 28$ мм,

ТВО-2 — $5,5 \times 6 \times 35$ мм,

ТВО-5 — $7 \times 10 \times 75$ мм,

ТВО-10 — $10 \times 13 \times 110$ мм,

ТВО-20 — $16 \times 25 \times 110$ мм,

ТВО-60 — $25 \times 42 \times 180$ мм.

Соппротивления ТВО изготовляются с номинальными величинами от 27 *ом* до 1 *Мом* с допусками по классам точности I, II и III.

Предельная рабочая температура сопротивлений ТВО без снижения мощности составляет 80° С, а при нагрузке 50-процентной номинальной мощностью эти сопротивления можно эксплуатировать при температуре окружающей среды до 150° С.

Коэффициент увлажнения сопротивлений ТВО не превышает 2—3 %.

Поверхностные сопротивления широкого применения. Из числа поверхностных постоянных сопротивлений наиболее широкое распространение в радиотехнической аппаратуре имеют сопротивления ВС с номинальными мощностями 0,25; 0,5; 1,0 и 2,0 *вт*, имеющие наименования ВС-0,25, ВС-0,5, ВС-1 и ВС-2 соответственно (рис. 53 и табл. 21) *.

Сопротивление любого из четырех названных видов представляет собой керамический стержень, на поверхность которого нанесен слой углерода, обладающий большим

* Сопротивления ВС (ВысокоСтабильное) в первые годы их выпуска действительно обладали высокой стабильностью по сравнению с имевшимися тогда непроволочными сопротивлениями всех других конструкций. В настоящее время выпускаются более стабильные сопротивления (например, БЛП, МГП).

удельным сопротивлением. У высокоомных сопротивлений слой углерода тоньше, чем у низкоомных. Практически толщина слоя углерода у описываемых сопротивлений от нескольких тысячных микрона до 0,2 μ .

Слой углерода осаждается на керамике в специальных печах методом пиролиза: вводимый в печь углеводородный газ или пар под действием высокой температуры разлагается и углерод осаждается на поверхности керамических стержней. У сопротивлений с номиналами 100—240 ом и выше на всю толщину

слоя углерода прорезана спиральная канавка шириной 0,3—0,8 мм, превращающая слой в ленточную спираль. Вследствие этого путь электрического тока от одного конца стержня до другого удлиняется, так как ток проходит последовательно по всем виткам спирали из углерода. Чем тоньше слой углерода и чем больше витков в его спирали, т. е. чем меньше ширина ее витков, тем больше получается величина сопротивления. На

концы науглероженного стержня туго напрессованы латунные посеребренные или луженые хомутики с ленточными латунными посеребренными или лужеными хвостами. При помощи последних сопротивление включается (подпаивается) в схему. Весь науглероженный стержень вместе с хомутиками покрыт влагостойкой органической эмалью зеленого цвета.

Следует заметить, что сопротивления ВС-0,25 и ВС-0,5 с номиналами свыше 0,5 Мом ненадежны в эксплуатации, так как они при большом числе витков нарезанной спирали имеют наиболее тонкий слой углерода, который легко разрушается в условиях повышенной влажности и перегрева. Поэтому применение таких сопротивлений в аппаратуре не рекомендуется. При необходимости применять сопротивления ВС с номинальными значениями свыше 0,5 Мом можно использовать сопротивления ВС с большими номинальными мощностями.

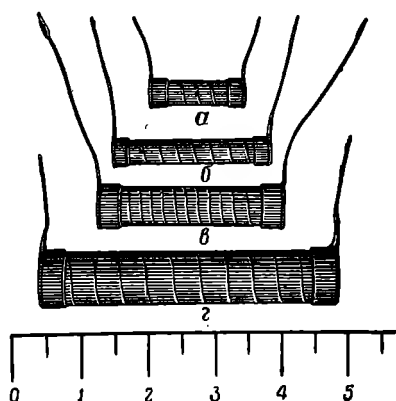


Рис. 53 Сопротивления ВС:

а — ВС-0,25; б — ВС-0,5; в — ВС-1; г — ВС-2

Постоянные непроволочные сопротивления УЛМ-0,12 (Углеродистое Лакированное Малогабаритное на номинальную мощность 0,12 *вт*), которые в последнее время называют также сопротивлениями ВС-0,12, имеют такую же конструкцию, как сопротивления ВС-0,25, но обладают меньшими размерами. Они предназначены для использования в малогабаритной аппаратуре (например, с полупроводниковыми приборами).

Сопротивления ВС-5, ВС-10, ВС-15, ВС-30, ВС-60 и ВС-100, имеющие номинальные мощности соответственно

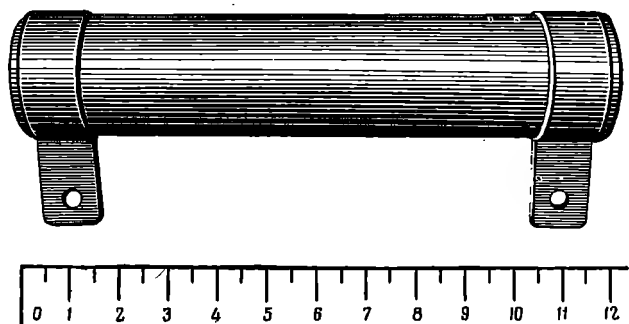


Рис. 54. Сопротивление ВС-10

5, 10, 15, 30, 60 и 100 *вт*, отличаются от одноименных сопротивлений с меньшими номинальными мощностями тем, что слой углерода нанесен не на сплошной стержень, а на керамическую трубку и выводные контакты сделаны в виде более массивных латунных хомутиков (рис. 54).

Вследствие того что толщина слоя углерода сопротивлений ВС и УЛМ остается меньше глубины проникновения переменного тока в широком диапазоне частот, их активные сопротивления до частот порядка нескольких мегагерц практически не отличаются от величин сопротивлений, измеренных на постоянном токе или на переменном токе низкой частоты. На более высоких частотах активное сопротивление уменьшается потому, что нахождение тока начинают заметно влиять емкости между краями витков токопроводящего слоя; эти емкости как бы шунтируют витки и понижают эффективную величину сопротивления. Так, у нарезных сопротивлений ВС-0,25 и ВС-0,5, которые применяются преимущественно в высокочастотных цепях радио-

приемных устройств, на частоте 10 Мгц активное сопротивление снижается примерно на 10%, а на частоте 100 Мгц уменьшается приблизительно в 3 раза.

Непроволочное постоянное сопротивление МЛТ (Металлизированное Лакированное Теплостойкое) отличается от сопротивления типа ВС тем, что на поверхность его керамической трубки вместо углерода нанесен обладающий большим удельным сопротивлением слой специального

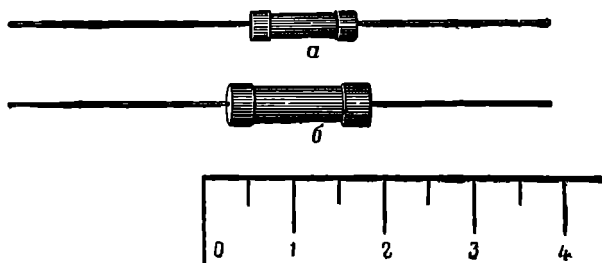


Рис. 55. Сопротивления МЛТ:

а — МЛТ-0,5; б — МЛТ-1

сплава. Толщина этого слоя около 0,1 μ при всех номиналах. Различие в величинах сопротивлений достигается изменением состава сплава и числа витков нарезанной спирали. Концевые контактные колпачки с проволочными выводами сопротивления МЛТ имеют несколько иную конструкцию (рис. 55) по сравнению с сопротивлением ВС. Сопротивление МЛТ окрашено в красный цвет.

Важнейшим преимуществом сопротивлений МЛТ по сравнению с сопротивлениями ВС является то, что при одинаковых номинальных мощностях сопротивление МЛТ значительно меньше по размеру (см. табл. 21) и работоспособно под нагрузкой полной номинальной мощностью при более высокой температуре окружающего воздуха. При этом и максимальная температура окружающего воздуха, при которой они могут работать, несколько выше, чем для сопротивлений ВС (см. табл. 21). В этом и заключается теплоустойчивость сопротивлений МЛТ. Кроме того, они обладают несколько лучшей влагустойчивостью, чем сопротивления ВС.

Так как проводящий слой сопротивлений МЛТ имеет большую толщину, чем у сопротивлений ВС, уменьшение активного сопротивления для МЛТ становится заметным

при более низких частотах. Например, на частоте 10 Мгц величина активного сопротивления образцов МЛТ-0,5 снижается примерно на одну треть, а на частотах 50—60 Мгц — в 4—5 раз по сравнению с величинами, измеренными на низких частотах.

Сопротивления ММЛТ имеют такую же конструкцию, как и сопротивления МЛТ, но габариты их меньше.

При работе в схемах непроволочных сопротивлений, в том числе ВС и МЛТ, наблюдаются необратимые изменения величин их активного сопротивления. Чем больше сопротивление нагружено и чем выше рабочая температура, тем сильнее это явление сказывается. При эксплуатации в цепях постоянного тока необратимые изменения нагруженных сопротивлений больше, чем при эксплуатации в цепях переменного тока (при одинаковых рассеиваемых мощностях). Последнее явление объясняется тем, что под действием напряжений между витками токопроводящего слоя возникают электролитические процессы в стекловидной фазе керамики, из которой изготовлен стержень или трубка сопротивления. Эти процессы нарушают структуру керамики в канавках между витками, что приводит в дальнейшем к разрушению краев витков токопроводящего слоя. При повышении рабочей температуры электролитические процессы в стекловидной фазе керамики активизируются и токопроводящий слой разрушается быстрее.

Следует отметить особенности поведения нарезных непроволочных сопротивлений при их работе в импульсном режиме. На витках токопроводящего слоя потенциал распределяется неравномерно. В непосредственной близости от канавки получается наибольшая плотность тока. При прохождении через сопротивление импульсного тока наблюдаются значительные перегревы токопроводящего слоя в этих местах. Не успевая рассасываться, они приводят к тепловому разрушению слоя.

Учитывая эти явления, сопротивления ВС, МЛТ и УЛИ при эксплуатации под импульсной нагрузкой ставят в такой режим, при котором средняя рассеиваемая мощность на сопротивлении ниже его номинальной мощности (см. стр. 108).

Недавно начато серийное производство непроволочных сопротивлений КММ (Композиционное Малогабаритное Металлическое).

Сопротивление КММ представляет собой стеклянный стержень цилиндрического сечения, в концы которого

впаяны проволочные выводы. Торцы стержня покрыты тонким слоем серебра, который частично заходит на выводы. Серебро наносится методом вжигания. Между полученными таким образом электродами из серебра на стекло нанесена токопроводящая пленка, основой которой является углерод. Пленка вместе с серебряными электродами покрыта влагостойкой органической эмалью.

Сопротивления КММ имеют диаметр 2 мм при длине 7 мм (без проволочных выводов) и изготавливаются с номинальными значениями от 0,5 до 100 Мом по классам точности II и III.

Ультравысокочастотные непроволочные сопротивления. Для применения на ультравысоких частотах выпускаются

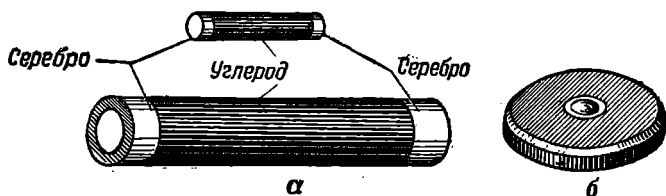


Рис. 56. Ультравысокочастотные углеродистые сопротивления:

а — сопротивление УНУ; б — сопротивление УНУ-Ш

специальные непроволочные сопротивления УНУ (Углеродистое Незащищенное Ультравысокочастотное) с номинальными мощностями от 0,25 в до 100 в (табл. 22 и рис. 56).

Сопротивления УНУ-0,25, УНУ-0,5, УНУ-1 и УНУ-2 представляют собой керамический стержень, на поверхность которого нанесен слой углерода. Нарезка спирали не делается. Концы стержня покрыты слоем серебра. Защитного покрытия сопротивление не имеет. Подключается сопротивление в схему с помощью специальной металлической арматуры, охватывающей посеребренные концы. Эти сопротивления используются в цепях формирования импульсов, в поглотителях и аттенюаторах измерительных устройств.

Сопротивления УНУ-5, УНУ-10, УНУ-25, УНУ-50 и УНУ-100 сделаны в виде керамических трубок. В остальном они аналогичны сопротивлениям УНУ с меньшей номинальной мощностью. Применяются они в различных импульсных цепях.

При наличии искусственного охлаждения средняя мощность, рассеиваемая трубчатыми сопротивлениями УНУ, может быть в 10 раз больше номинальной.

Сопротивления УНУ-Ш (Углеродистое Незащищенное Ультравысокочастотное Шайбовое) представляют собой керамическую шайбу, покрытую слоем углерода. Эти сопротивления используются в качестве поглотительных в коаксиальных линиях, а также в волноводах и аттенуаторах. Внутренний провод коаксиальной линии пропускается через отверстие в сопротивлении, а наружный охватывает его по внешней окружности. Надежный контакт с токопроводящим слоем обеспечивается применением соответствующей металлической арматуры. Сопротивления УНУ-Ш обладают весьма малой индуктивностью и могут быть использованы на частотах до 10 000 Мгц.

Прецизионные постоянные непроволочные сопротивления. Непроволочные сопротивления УЛИ (Углеродистое Лакированное для Измерительной аппаратуры) выпускаются с номинальными мощностями 0,1; 0,25; 0,5 и 1 вт и имеют соответственно названия: УЛИ-0,1; УЛИ-0,25; УЛИ-0,5 и УЛИ-1 (см. табл. 23). По конструкции сопротивления УЛИ подобны сопротивлениям ВС-0,25—ВС-2. Лучшая стабильность параметров сопротивлений УЛИ при работе под нагрузкой и при хранении достигается тем, что у них более толстый слой углерода, более влагонепроницаемое лаковое покрытие и размеры их больше, т. е. перегрев меньше. Так, например, сопротивления УЛИ-0,1 с номиналами от 10 ом до 1 Мом имеют почти такие же габариты, как сопротивления ВС-0,25; сопротивления УЛИ-0,5, как ВС-1; УЛИ-1, как ВС-2.

Сопротивления БЛП (Бороуглеродистое Лакированное Прецизионное), также предназначенные для использования в основном в измерительной аппаратуре, выпускаются с такими же номинальными мощностями, при таких же габаритах и с такими же контактными выводами, как и сопротивления УЛИ, обладая еще лучшей стабильностью параметров (см. табл. 23). Последнее достигается введением в пирролитический углерод небольших добавок бора. В связи с тем что бороуглеродистые пленки имеют меньшее удельное сопротивление по сравнению с обычными углеродистыми, при данных габаритах невозможно получить номинальные значения активного сопротивления больше 100 ком.

Одновременно с сопротивлениями БЛП были разработаны аналогичные по назначению и по стабильности пара-

метров сопротивления МЛП (Металлизированное Лакированное Прецизионное), имеющие номиналы от 100 *ком* до 5,1 *Мом*. По конструкции и размерам они такие же, как сопротивление МЛТ-2 (рис. 57, *а*), но предельно допустимая для них мощность рассеяния не превышает 0,5 *вт*. Для повышения влагоустойчивости сопротивления МЛП с номинальными значениями от 510 *ком* и выше заключены в герметизированные металлические корпуса со стеклянными изоляторами, подобные корпусу конденсатора КБГ-М2 (рис. 57, *б*). В этом случае слой металлизации, нанесенный

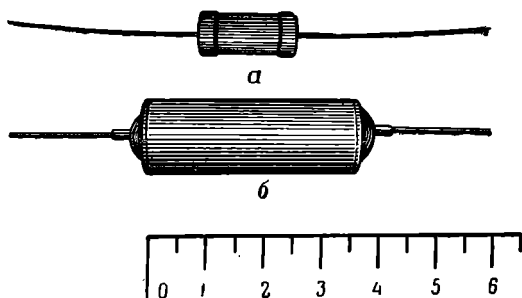


Рис. 57. Сопротивления МЛП:
а — до 470 *ком*; *б* — от 510 *ком* и выше

на керамику, эмалью не покрывается, что улучшает стабильность сопротивлений во времени, так как в случае покрытия сопротивления эмалью входящие в последнюю органические растворители пропитывают токопроводящий слой и затем, длительное время улетучиваясь, постепенно изменяют его свойства. А это приводит к изменению величины сопротивления.

В настоящее время упомянутые непроволочные металлизированные прецизионные сопротивления всех номинальных величин выпускаются в керамических или металлических цилиндрических корпусах, герметизированных по торцам эпоксидным компаундом. Токопроводящий слой эмалевого покрытия не имеет. Диаметр корпуса сопротивлений в новом оформлении около 11 *мм* при длине не более 28,5 *мм*. В связи с изменением конструктивного исполнения они переименованы в сопротивления МГП (Металлизированное Герметичное Прецизионное).

Основные электрические данные и габаритные размеры упомянутых прецизионных сопротивлений приведены в

табл. 23. Согласно техническим условиям рабочий интервал температур сопротивлений УЛИ от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$, БЛП от -60 до $+60^{\circ}\text{C}$, а МЛП и МГП от $+10$ до $+50^{\circ}\text{C}$; при эксплуатации сопротивлений УЛИ в условиях температуры свыше 60°C мощность должна снижаться на $1,25\%$ на 1°C , по сравнению с номинальной. Технические условия гарантируют стабильность параметров сопротивлений УЛИ в условиях относительной влажности до 98% , БЛП — до 85% , а МЛП и МГП — до 80% . Сопротивление УЛИ допускается эксплуатировать при разрежении окружающей атмосферы до 90 мм рт. ст. , а сопротивления БЛП, МЛП и МГП — только при нормальном атмосферном давлении.

Температурные коэффициенты этих сопротивлений в указанных интервалах температур не превышают:

- для сопротивлений УЛИ:
 - до 10 ом минус $0,03\%$ на 1°C ;
 - от 10 ом до 200 ком минус $0,05\%$ на 1°C ;
 - свыше 200 ком минус $0,1\%$ на 1°C ;
- для сопротивлений БЛП всех номинальных величин:
 - по группе А минус $0,01\%$ на 1°C в интервале от $+20$ до $+60^{\circ}\text{C}$ и минус $0,0125\%$ на 1°C в интервале от $+20$ до -60°C ;
 - по группе Б минус $0,02\%$ на 1°C в интервале от $+20$ до $+60^{\circ}\text{C}$ и минус $0,025\%$ на 1°C в интервале от $+20$ до -60°C ;
- для сопротивлений МЛП и МГП всех номиналов:
 - по группе А $\pm 0,01\%$ на 1°C ;
 - по группе Б $\pm 0,02\%$ на 1°C .

Коэффициенты влагоустойчивости этих сопротивлений, измеренные после их пребывания в течение 24 час в атмосфере с относительной влажностью $95-98\%$ при $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, имеют следующие средние значения:

- у сопротивлений УЛИ до 200 ком $\pm 1\%$, свыше 200 ком $\pm 2\%$;
- у сопротивлений БЛП, МЛП и МГП всех номиналов $\pm 0,5\%$.

Во избежание изменений параметров сопротивлений при монтаже вследствие перегрева рекомендуется пайку их выводов производить не ближе 10 мм от корпуса сопротивлений.

3. Непроволочные переменные сопротивления

Переменные непроволочные сопротивления применяются в радиотехнической аппаратуре для осуществления различ-

ных регулировок. Наибольшее распространение имеют не-
проволочные сопротивления СП (Сопротивление Перемен-
ное*). Начинают внедряться также сопротивления СПО
(Сопротивление Переменное Объемное). Общие виды этих
сопротивлений показаны на
рис. 58. Все эти сопротивления,
как и постоянные сопротивле-
ния, различаются по номи-
нальной мощности, т. е. наи-
большей мощности, которая
может длительное время рас-
сеиваться на сопротивлении,
и по номинальной величине
активного сопротивления, кото-
рая определяется между кон-
цами (крайними выводами)
переменного сопротивления и
не зависит от положения его
ручки (оси).

Кроме того, переменные со-
противления различаются по
характеру изменения сопротив-
ления между крайними и сред-
ними выводами при вращении
их осей. Если величина сопро-
тивления между средним выво-
дом и любым из крайних вы-
водов изменяется прямо про-
порционально изменению угла
поворота оси, т. е. между углом
поворота и величиной сопро-
тивления существует линейная
зависимость, на сопротивлении
ставится буква А. Если же ве-
личина сопротивления между
средним и правым выводом при
вращении оси по часовой
стрелке увеличивается по логарифмической или по показательной кривой, то на сопротивлении ставится соответственно буква Б или В. Упомянутые кривые приведены на рис. 59.

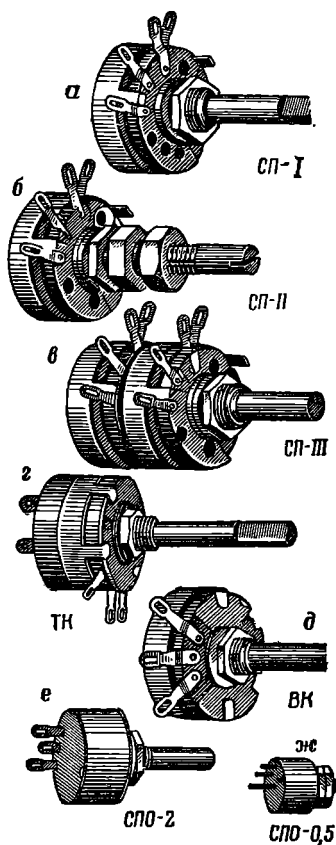


Рис. 58. Переменные непроволочные сопротивления (потенциометры):

а — СП-I; б — СП-II; в — СП-III;
г — ТК; д — ВК; е — СПО-2; ж —
СПО-0,5

* Раньше они назывались сопротивлениями типа «Омега».

Если, например, на сопротивлении имеется надпись «100 ком А 0,5 Вт», значит, зависимость между углом поворота его оси и введенным сопротивлением линейная, а мощность, рассеиваемая на сопротивлении, ни при каких условиях не должна превышать 0,5 Вт.

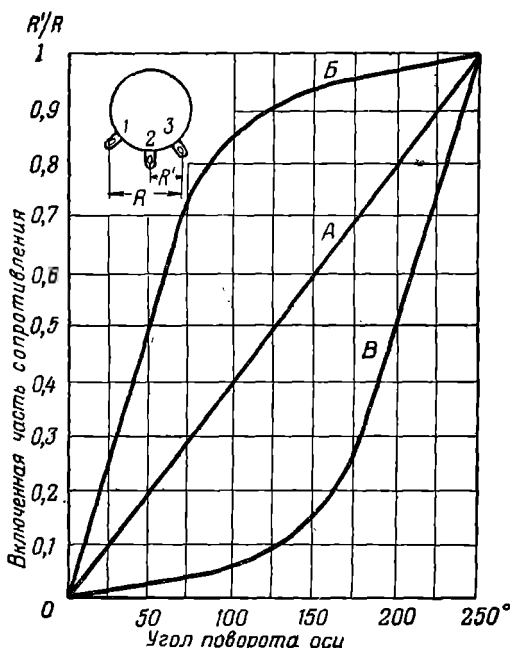


Рис. 59. Кривые зависимости величины введенного сопротивления от угла поворота оси

Устройство переменного непроволочного сопротивления рассмотрим на примере сопротивления СП (рис. 60). К его цилиндрическому корпусу из пластмассы, армированному внутри металлом, приклеена дужка из гетинакса. Поверхность дужки покрыта тонким токопроводящим слоем, состоящим из частиц углерода (сажи), размешанного в лаке. После нанесения этого состава на гетинакс, он подвергается полимеризации в условиях высокой температуры. У сопротивлений с линейной характеристикой удельная проводимость слоя равномерна по всей длине дужки, а у сопротивлений с логарифмической и показательной кривыми она изменяется от одного конца дужки к другому. В центре корпуса имеется металлическая втулка, внутри которой сво-

бодно вращается металлическая ось с текстолитовой фигурной пластинкой на одном ее конце. На текстолитовой пластинке укреплена контактная щетка, состоящая из нескольких изогнутых пружинящих проволочек. Она прижимается к поверхности проводящего слоя на дужке и электрического соединения с осью не имеет.

Концы проводящего слоя на дужке соединены через заклепки с крайними выводными лепестками, а щетка через контактное кольцо на его корпусе и заклепку — со средним выводным лепестком. При вращении оси щетка скользит по поверхности проводящего слоя на дужке, вследствие чего сопротивления между средним и крайними выводами изменяются. Полный угол вращения оси и щетки, ограничиваемый упором, составляет примерно 250° . Описанный механизм закрыт металлическим чехлом, предохраняющим его от механических повреждений, пыли, частично от влаги.

С помощью вышеупомянутой втулки, на внешней поверхности которой имеется резьба, и навинчиваемой на нее гайки сопротивление крепится в отверстиях монтажной панели. Выступающий из втулки конец оси, на который насаживается ручка, имеет диаметр 6 мм и длину 4; 13 и 60 мм. Некоторые оси имеют на концах плоские срезы для удобства крепления ручек (рис. 58, а) или шлицы для вращения осей с помощью отвертки. Сопротивления с осями, имеющими шлицы, применяются в тех случаях, когда переменными сопротивлениями в эксплуатации приходится пользоваться редко.

Сопротивления СП-II снабжены фиксаторами положения осей в виде дополнительных разрезных втулок с навин-

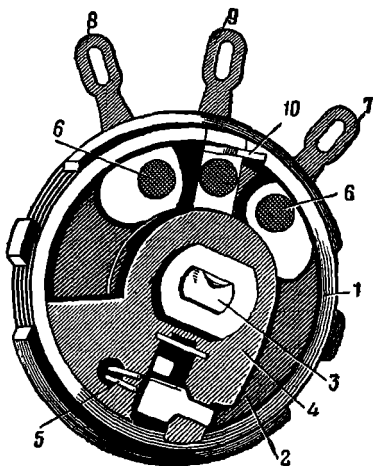


Рис. 60. Вид переменного сопротивления СП со снятым защитным кожухом:

- 1 — пластмассовый корпус; 2 — гетинаксовая дужка с токопроводящим слоем; 3 — расклепанный конец оси; 4 — текстолитовая подвижная часть; 5 — проволоочная токосъемная щетка; 6 — заклепки, соединяющие токопроводящий слой с выводными лепестками; 7 и 8 — выводные лепестки от концов токопроводящего слоя; 9 — выводной лепесток от подвижной токосъемной щетки; 10 — ограничитель угла поворота оси

чивающимися на них гайками (рис. 58, б). С помощью последних ось можно застопорить в любом положении после того, как закончена регулировка сопротивления, и этим исключить возможность случайно нарушить установленное положение щетки на дужке.

Применяются также «сдвоенные» сопротивления (СП-III и СП-IV). Такое сопротивление состоит из двух переменных сопротивлений описанной выше конструкции, имеющих общую ось (рис. 58, в). С его помощью можно регулировать напряжение или ток сразу в двух цепях. Сопротивление СП-IV имеет устройство (втулку и гайку) для стопорения оси.

Переменное сопротивление ВК (рис. 58, д) аналогично одинарному сопротивлению СП, но диаметр его корпуса несколько больше и корпус не имеет металлической армировки. Сопротивление ТК отличается от сопротивления ВК наличием на его чехле выключателя (рис. 58, з). Выключатель приводится в действие от вращения оси переменного сопротивления, когда его контактная щетка заканчивает свой путь по токопроводящему слою. Полный угол поворота оси сопротивления ТК (также и сопротивления ВК) около 270° , но сопротивление изменяется только в пределах угла около 220° . В пределах остальной части угла поворота выключатель срабатывает и сопротивление остается неизменным. Сопротивления ВК выпускаются с осями длиной 50 мм, а сопротивления ТК — с осями длиной 50 или 58 мм. Во всех случаях оси имеют на концах плоские срезы для закрепления ручек. Сопротивления двух последних типов применяются весьма редко. В частности, они используются в измерительной аппаратуре.

Корпус переменного сопротивления СПО — керамический (из стеатита), чехол металлический (рис. 58, е и ж). Токопроводящий слой неорганического состава впрессован в дугообразную канавку в керамическом корпусе и имеет значительно большую толщину (0,3—0,4 мм), чем у описанных выше сопротивлений. Поэтому сопротивление СПО-2 и называется объемным. Его контактная щетка изготовлена из смеси графита, сажи и связующего пластичного материала. Диаметр, длина и форма выступающего конца оси сопротивления СПО-2 такие же, как у сопротивления СП. Полный угол поворота оси около 290° . Ось малогабаритного сопротивления СПО-0,5 имеет диаметр 3 мм и выступающие концы длиной 3, 13 или 19 мм. Полный угол поворота около 260° .

Сопротивления СПО по ряду показателей принципиально лучше сопротивлений СП, ВК и ТК. Как видно из табл. 24, верхний предел рабочей температуры сопротивлений СПО значительно выше, и при этом они могут работать без снижения мощности при более высоких температурах; они более влагоустойчивы и имеют меньшую э.д.с. шумов. Так, если у сопротивлений СП с номинальным значением от 120 до 470 *ком* э.д.с. шумов можем достигать 10 *мкв/в*, то у сопротивлений СПО такого же номинала э.д.с. шумов не превышает 5 *мкв/в*.

Недостатком сопротивлений СПО-0,5 выпуска до 1958 года включительно являлась недостаточная плавность хода токосъемной щетки.

В спецификациях к схемам радиотехнической аппаратуры и в другой технической документации основные данные переменных непроволочных сопротивлений указываются сокращенными записями в следующем порядке:

1. Наименование типа сопротивления.
2. Условное обозначение вида (со стопорением оси или без него, одинарное или сдвоенное сопротивление).
3. Номинальная мощность в ваттах.
4. Номинальное активное сопротивление в омах, килоомах или мегомах.
5. Предельное отклонение активного сопротивления от номинала (если сопротивления данного типа выпускаются по различным классам точности).
6. Буквенное обозначение вида кривой изменения сопротивления (если сопротивления данного типа выпускаются с кривыми разного вида).
7. Длина выступающего конца оси.
8. Условное буквенное обозначение формы выступающего конца оси: л — фрезированная плоскость (лыска), ш — шлиц (при круглом конце оси без шлица буквы в конце обозначения нет).

Для сдвоенных сопротивлений после наименования типа и вида идет вертикальная черта; под чертой указываются данные сопротивления, расположенного у гайки крепления, а над чертой — другого сопротивления.

Примеры обозначений:

1. Сопротивление СПО с номинальной мощностью 2 *вт*, с номинальным активным сопротивлением 150 *ком*, с выступающим концом оси длиной 13 *мм*, имеющим шлиц, обозначается так: СПО-2-150 *ком* $\pm 20\%$ -13 ш.

2. Сдвоенное сопротивление СП с номинальной мощностью обоих сопротивлений по 1 *вт*, с номинальными активными сопротивлениями по 470 *ом*, кривыми вида А, осью с длиной выступающего конца 60 *мм*, имеющей фрезированную плоскость и гайку для стопорения, обозначается так:

$$\text{СП-IV} \frac{1-470-A}{1-470-A-60 \text{ л}}.$$

4. Проволочные эмалированные сопротивления

В цепях питания радиотехнической аппаратуры (главным образом в силовых блоках) широко применяются сопротивления ПЭ (Проволочное Эмалированное) и ПЭВ (Проволочное Эмалированное Влагостойкое).

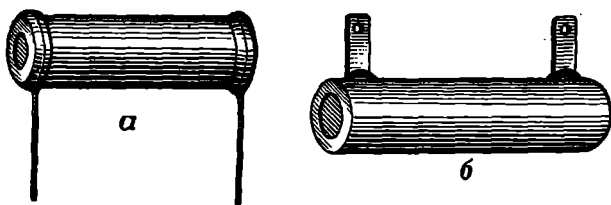


Рис. 61. Постоянные проволочные эмалированные сопротивления:

a — ПЭ; *б* — ПЭВ

Проволочное эмалированное сопротивление представляет собой керамическую трубку, на которую намотана неизолированная проволока высокого сопротивления. В низкоомных сопротивлениях применяется константановая, а в высокоомных — нихромовая проволока. Обмотка эта покрыта сверху теплостойкой неорганической стеклоэмалью коричневого или зеленого цвета. Она изолирует друг от друга витки обмотки и защищает ее от влаги, загрязнения и до некоторой степени от механических повреждений.

Выводы концов обмотки сопротивления ПЭ сделаны в виде гибких жгутов, свитых из тонких медных проволок (рис. 61, *a*), концы которых подпаиваются в схему. Выпускаются сопротивления ПЭ с отводами от промежуточных витков. Выводы сопротивления ПЭВ представляют собой латунные пластинки с отверстиями для подпайки внешних проводников схемы (рис. 61, *б*).

Разновидностью сопротивления ПЭВ является сопротивление ПЭВ-Х. Оно отличается наличием хомутика, охватывающего сопротивление и могущего передвигаться вдоль него (рис. 62). Для осуществления контакта хомутика с промежуточными витками сопротивления вдоль его корпуса сделана очищенная от стеклоэмали дорожка. Следовательно, величину сопротивления ПЭВ-Х можно изменять.

Все эти сопротивления выпускаются с допусками по классам точности I и II.

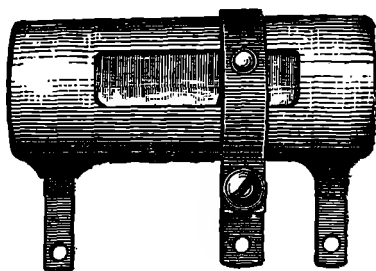


Рис. 62. Регулируемое проволочное эмалированное сопротивление ПЭВ-Х

Рабочий интервал температуры окружающей среды для сопротивлений ПЭ от -60 до $+70^{\circ}\text{C}$ и для ПЭВ и ПЭВ-Х от -60 до $+100^{\circ}\text{C}$; при температуре выше 40°C фактическую мощность необходимо снижать из расчета $0,35\%$ на 1°C по сравнению с номинальной, а в условиях работы при атмосферном давлении 40 мм рт. ст. снижать не менее чем на 20% .

Сопротивление ПЭ допускается применять в условиях относительной влажности, не превышающей 80% . Сопротивления ПЭВ и ПЭВ-Х работоспособны при относительной влажности окружающей среды до 98% . Основные данные проволочных эмалированных сопротивлений широкого применения приведены в табл. 25.

Крепятся эти сопротивления в аппаратуре болтами или шпильками, пропускаемыми сквозь внутреннее отверстие трубки сопротивления. Если сопротивление находится под напряжением свыше $1\text{—}1,5\text{ кВ}$, металлическое крепление при монтаже должно быть изолировано от корпуса.

Наиболее часто встречающийся в эксплуатации дефект сопротивлений ПЭ, ПЭВ и ПЭВ-Х — нарушение контакта в месте сварки провода высокого сопротивления с выводом.

Разработанные недавно прецизионные проволочные постоянные сопротивления ПКВ и регулируемые сопротивления РПКВ (аналогичные ПЭВ-Х) с номинальными мощностями 1—5 *вт* могут работать при температуре окружающей среды до 100—125° С без снижения мощности и до 250° С со снижением мощности. В них применено кремнийорганическое покрытие.



ТАБЛИЦЫ

Таблица 1

КЛАССЫ ТОЧНОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ ПОСТОЯННОЙ ЕМКОСТИ

Класс точности	Наибольшее допустимое отклонение емкости от номинальной, %	Какие конденсаторы выпускаются по данному классу точности
001	$\pm 0,1$	Пленочные, металлопленочные То же
002	$\pm 0,2$	
005	$\pm 0,5$	
00 (или 01)	± 1	Керамические, слюдяные, пленочные, металлопленочные, стеклоэмалевые
0 (или 02)	± 2	
I	± 5	Керамические, слюдяные, бумажные, металлобумажные, пленочные, металлопленочные, стеклоэмалевые
II	± 10	То же
III	± 20	„
IV	$+30-20$	Бумажные высоковольтные
V	$+50-20$	Электролитические и сегнетокерамические
VIII	$+100-0$	Электролитические малогабаритные
	$+100-20$	Сегнетокерамические
	$+100-40$	То же

НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫЕ НОМИНАЛЬНЫЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ В ПИКОФАРАДАХ

Класс										
II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
4	1	10	10	10	100	100	100	1000	1000	1000
					110			1100		
		12	12		120	120		1200	1200	
					130			1300		
	1,5	15	15	15	150	150	150	1500	1500	1500
		16			160			1600		
		18	18		180	180		1800	1800	
	2	20			200*			2000*		
		22	22	22	220	220	220	2200	2200	2200
		24			240			2400		
		27	27		270	270		2700	2700	
	3	30			300*			3000*		
		33	33	33	330	330	330	3300	3300	3300
		36			360			3600		
	4	39	39		390	390		3900	3900	
		43			430			4300		
		47	47	47	470	470	470	4700	4700	4700
5	5	51			510			5100		
		56	56		560	560		5600	5600	
6	6	62			620			6200		
7	7	68	68	68	680	680	680	6800	6800	6800
		75			750			7500		
8	8	82	82		820	820		8200	8200	
9	9	91			910			9100		
								10000	10000	10000

Примечания: 1. Конденсаторы по классам точности 0 и 00 обычно выпускаются с такими же номинальными емкостями, как и конденсаторы класса точности I.

2. С номинальными емкостями, отмеченными звездочкой*, выпускаются также конденсаторы по более низким классам точности.

ШКАЛА НОМИНАЛЬНОЙ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ В МИКРОФАРАДАХ

К л а с с ы

I, II, III, IV		I, II, III, IV, V		V	
0,01	0,1*	1	10	100	1000
0,012	0,125**		14**	150	1300
0,015			15*		
0,02		2	20	200	2000
0,025	0,25*		25		
0,03		3***	30	350	
0,04		4*	40***		
0,05	0,5	5***	50***	500	
0,07		6*		700	
		9**	80***	800	

* По классу точности V не выпускаются.

** Номинал, не предусмотренный шкалой ГОСТ 2519—49; по классу V не выпускается.

*** По классам точности I, II, III не выпускаются.

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ НЕКОТОРЫХ КОНДЕНСАТОРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Наименование материала	Диэлектрическая проницаемость при 20° С	Температурный коэффициент при 20—80° С	Классификация материала по ГОСТ 5458—57		Условная маркировка конденсаторов из данного материала	
			класс	группа	буквенная	цветная
Высокочастотные диэлектрики						
Ультрафарфор	7,0—8,5	$+(80—140) \cdot 10^{-6}$	V	—	С	Синяя
Радиостеатит	$\leq 7,5$	$+(80—140) \cdot 10^{-6}$	IV	а	С	”
Термоконд ТК-Р	12—30	$+(10—50) \cdot 10^{-6}$	III	—	Р	Серая
Термоконд ТК-20 (ТК-М)	17—30	$-(30—70) \cdot 10^{-6}$	II	б	М	Голубая
Тиконд Т-60	55—60	$-(530—670) \cdot 10^{-6}$	—	—	Ж	Оранжевая
Тиконд Т-80	65—100	$-(600—800) \cdot 10^{-6}$	I	б	Д	Красная
Тиконд Т-150	130—190	$-(1100—1500) \cdot 10^{-6}$	I	а	К	Красная с зеленой полосой или точкой
Сегнетоэлектрики						
Сегнетокерамика СК-1	1000—1700	*	VIII	б	СК	Красная с синей полосой или точкой
Сегнетокерамика СК-2	3000—6000	**	VIII	а	СК или Н	То же или желтая, оранжевая
Сегнетокерамика СК-3	1400—1750	***	VIII	б	СК	Красная с синей полосой или точкой
Сегнетокерамика СМ-1	≈ 3000	****	VIII	а	СК или Н	То же или оранжевая

* При —60 н +80° С диэлектрическая проницаемость не ниже 80% от величины, измеренной при 20° С.
 ** При —60 н +80° С диэлектрическая проницаемость не ниже 20% от величины, измеренной при 20° С.
 *** При —60 н +80° С диэлектрическая проницаемость не ниже 40% от величины, измеренной при 20° С.
 **** При —60° С диэлектрическая проницаемость около 1400 н при +80° С около 2200.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КЕРАМИЧЕСКИХ

Тип	Теплостойчивость, град. С	Высотность, мм рт. ст.	Вибропрочность, г	Номинальное рабочее напряжение		Испытательное напряжение постоянного тока, в	
				постоянного тока, в	переменного тока высокой частоты, в	в нормальных условиях	при минимальном атмосферном давлении

Дисковые керами

КДК	+80 ³	40	10	500 ⁴	250 ⁴	1500	510
КД	+80	5	9	250	150	500	—
КДМ	+85	5	15	150	—	450	—
КДУ	+85	40	9	500	250	1500	650
КДО	+85	40	15	500 ⁴	250 ⁴	1500	650

Трубчатые керами

КТК	+80 ⁷	40	10	500 ⁴	250 ⁴	1500	510
КТ	+80	5	9	500	150	1000	500
КТМ	+85	5	15	150	—	450	—
КТН	+125	19	15	500	250	1500	500
КТНБ	+125	19	15	500	250	1500	500
КВКТ	+80 ⁹	750±30 (40 ¹⁰)	6	1—12 кв	0,3—10 кв	2—24 кв ¹¹	0,3—3,6 кв ¹²
КГК	+80	40	10	500 ⁴	250 ⁴	1500	510
КО	+85	40	9	500	250	1500	650
КТП	+80	40	15	500 ⁴	250 ⁴	1500	510

¹ Конденсаторы всех типов работоспособны при температуре до —60° С при относительной влажности выше 80% могут использоваться при усло

² Тангенс угла потерь измеряется на частоте 0,5—1,5 Мгц; у конден в нормальных условиях 0,003. Сопротивление изоляции керамических кон и стеклоэмалевых — не менее 20 000 Мом.

³ Конденсаторы КДК фактически работоспособны при температуре до

⁴ При разрежении атмосферы до 19 и до 5 мм рт. ст. рабочие напряа напряжение переменного тока не свыше 100 в.

⁵ Конденсаторы КДК и КТК емкостью 1—4 нф изготавлиются с допу

⁶ Для конденсаторов группы Р тангенс угла потерь не более 0,0010.

⁷ Конденсаторы КТК (кроме группы Д) фактически работоспособны

⁸ Конденсаторы КТН емкостью 1—4 нф изготавливаются с допуском

⁹ При температуре выше 40° С (до 80° С) реактивная мощность

¹⁰ При атмосферном давлении 40 мм рт. ст. конденсаторы могут ис мощности.

¹¹ Испытательное напряжение в нормальных условиях в два раза

¹² Испытательное напряжение при атмосферном давлении 40 мм рт. ст.

И СТЕКЛОЭМАЛЕВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Пределы номинальной емкости, <i>пф</i>	Классы точности	Группы по ТКЕ	Номинальная реактивная мощность, <i>ва</i>	Максимальный тангенс угла потерь ²	
				в нормальных условиях	при максимальной рабочей температуре

ческие конденсаторы

1—240	0, I, II, III ⁵	C, P, M, D, K	25; 75	0,0012 ⁶	0,0018
30—360	I, II	K	20—75	0,0012	0,0018
1—100	II, III	C, P, M, D, K	—	0,0015	0,0020
1—27	II	C, P, M, D	25; 75	0,0012	0,0018
3—91	III	C, P, M, D, K	75	0,0015	0,0020

ческие конденсаторы

2—2200	0, I, II, III ⁵	C, P, M, D, K	25—125	0,0012 ⁶	0,0018
180—620	I, II	K	25—75	0,0012	0,0018
1—300	II, III	C, P, M, D, K	—	0,0015	0,0020
2—680	0, I, II, III ⁸	C, P, M, D	300—1200	0,0012 ⁶	0,0020
185—1000	0, I, II, III	C, M	800—2400	0,0012 ⁶	0,0020
15—1500	II, III	C, M, D	200—10000 ⁹	Не регламентируется	
5—1000	0, I, II, III ⁵	C, P, M, D	25—125	0,0012 ⁶	0,0018
20—360	III	K	50; 75	0,0015	0,0020
8—300	II	C, M, D	—	0,0015	0,0018

и в атмосфере с относительной влажностью до 98% (конденсаторы КВКТ вии снижения рабочего напряжения и реактивной мощности). саторов малой емкости он не измеряется и фактически может достигать денсаторов всех типов в нормальных условиях не менее 10 000 *Мом* 125°С.

жения постоянного тока не свыше 400 и 300 *в* соответственно и рабочее

ском $\pm 0,4$ *пф*, емкостью 5—30 *пф* — только по классам точности I, II и III. Фактический тангенс угла потерь конденсаторов всех групп от 0,0002. длительное время при температуре до 125°С.

$\pm 0,4$ *пф*, емкостью 5—100 *пф* — только по классам точности I, II и III. должна снижаться из расчета 2% на 1°С.

пользоваться при условии снижения рабочего напряжения и реактивной

больше номинального рабочего напряжения постоянного тока. составляет 15% испытательного напряжения при нормальном давлении.

Тип	Теплоустойчивость, град. С	Высотность, мм рт. ст.	Вибропрочность, г	Номинальное рабочее напряжение		Испытательное напряжение постоянного тока, в	
				постоянного тока, в	переменного тока высокой частоты, в	в нормальных условиях	при минимальном атмосферном давлении

Пластинчатые керами

КП	+80	5	9	250	150	500	250
----	-----	---	---	-----	-----	-----	-----

Высоковольтные керамические

КВКБ	+80 ⁹	750+30 (40 ¹⁰)	6	4—10 кВ	3,5—10 кВ	8—20 кВ ¹¹	1,2—3 кВ ¹²
КВБ	+85	400	10	10—15 кВ ¹³	—	19—26,5 кВ	—
КВС	+85	400	10	10—30 кВ ¹⁴	—	19—44 кВ	—
КВКГ	+80 ⁹	750+30 (40 ¹⁰)	6	6—15 кВ	3—10 кВ	12—30 кВ ¹¹	1,8—4,5 кВ ¹²
КВЦ	+125	400	3	15 кВ ¹⁵	—	26,5 кВ	—
КВК	+125	400	3	3 кВ ¹⁶	—	6,75 кВ	—

Стеклоэмалевые

КС	+100 ¹⁷	5	9	500	—	1000	—
	+100 ¹⁷	40	9	1000	—	2000	—

⁹ При температуре выше 40° С (до 80° С) реактивная мощность

¹⁰ При атмосферном давлении 40 мм рт. ст. конденсаторы могут ис-
мощности.

¹¹ Испытательное напряжение в нормальных условиях в два раза

¹² Испытательное напряжение при атмосферном давлении 40 мм рт. ст.

¹³ Предельное рабочее импульсное напряжение для конденсаторов раз-
ния 200—2000.

¹⁴ Предельное рабочее импульсное напряжение при длительности им

¹⁵ Предельное рабочее импульсное напряжение при длительности им
с одновременным наложением высокочастотной составляющей с амплиту-
нии постоянного тока величиной, составляющей 75% рабочего импульсно

¹⁶ Предельное рабочее импульсное напряжение при длительности им-
жение импульсов высокой частоты с амплитудой, составляющей до 50%
стоянного тока величиной, составляющей 75% рабочего импульсного на

¹⁷ Допускается работа при 150° С.

¹⁸ Но не точнее ± 1 пф.

¹⁹ При температуре выше 40° С реактивная мощность дол

Пределы номинальной емкости, <i>пф</i>	Классы точности	Группа по ТКЕ	Номинальная реактивная мощность, <i>ва</i>	Максимальный тангенс угла потерь ²	
				в нормальных условиях	при максимальной рабочей температуре

ческие конденсаторы

30—1500	II	K	20—75	0,0015	0,0018
---------	----	---	-------	--------	--------

конденсаторы разных типов

2,5—68	II, III	C, Д	1000—5000	Не регламентируется	
500—2000	III	—	—	0,004	—
20—100	III	—	—	0,004	—
47—2200	III	C, Д	5000—12000	Не регламентируется	
150	III	—	125000	0,0003	
3000	V	K	75000	0,0005	

конденсаторы

10—1000	0, I, II, III ¹⁸	P, O, M, П	200; 400 ¹⁹	0,0015	0,002
10—430	0, I, II, III ¹⁸	P, O, M, П	200; 400 ¹⁹	0,0015	0,002

должна снижаться из расчета 2% на 1° C.

пользоваться при условии снижения рабочего напряжения и реактивной

больше номинального рабочего напряжения постоянного тока.

составляет 15% испытательного напряжения при нормальном давлении.

ных видов при длительности импульсов 0,5—5 мксек и частоте следова-

пульса 0,1—3 мксек и частоте следования 200—5000.

пульса 0,5—3 мксек и частоте следования 200—5000; возможна работа до 5—6% рабочего импульсного напряжения, а также при напряжении

пульсов 0,5—3 мксек и частоте следования 200—5000; допускается наложение рабочего импульсного напряжения, а также работа при напряжении по напряжению.

жна снижаться из расчета 1% на 1° C.

Таблица 6

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЕГНЕТОКЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

Тип	Температура устойчивости*, град. С	Высотность, мм рт. ст.	Вибропрочность, g	Номинальное рабочее напряжение, в		Испытательное напряжение постоянного тока, в		Пределы номинальной емкости	Допустимое отклонение от номинала, %	Емкость при крайних рабочих температурах в % от емкости при нормальной температуре не менее	Максимальный тангенс угла потерь**	
				постоянного тока	переменного тока	в нормальных условиях	при минимальном атмосферном давлении				в нормальных условиях	при максимальной рабочей температуре
Дисковые конденсаторы												
КДМ	+85	5	15	60	—	200	75	510—1500 пф	+ неограничено — 20	30	0,04	—
КДС	+80	90	4	250	150	500	300	1000, 3000, 6800 пф	+ 100 — 40	20	0,04	0,03
КДО	+85	40	9	300	—	300	350	680—1100 пф	+ неограничено — 20	—	—	—
Трубчатые конденсаторы												
КТМ	+85	5	15	60	—	200	75	510—3000 пф	+ неограничено — 20	30	0,04	—
КТНС	+70	40	15	300	—	1000	400	3600, 4300, 10000 пф	+ неограничено — 10	40	—	—
КО	+85	40	9	300	—	800	350	680—3600 пф	+ неограничено — 20	—	—	—
Пластиначатые конденсаторы												
КПС	+80	90	4	250	—	500	250	510пф—0,04 мкф	+ 100 — 40	20	0,04	0,05

* Конденсаторы всех типов работоспособны при температуре от —60°С и в атмосфере с относительной влажностью до 98%.

** Тангенс угла потерь измеряется на частоте 800—1200 гц. Сопротивление изоляции в нормальных условиях конденсаторов КДС и КПС не менее 10 000 Мом и конденсаторов остальных типов не менее 500 Мом.

**ТЕМПЕРАТУРНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЕМКОСТИ
СЛЮДЯНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ**

Группа ТКЕ	Предельный ТКЕ на 1° С
А	$\pm 1000 \cdot 10^{-6}$
Б	$\pm 200 \cdot 10^{-6}$
В	$\pm 100 \cdot 10^{-6}$
Г	$\pm 50 \cdot 10^{-6}$

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЛЮДЯНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Тип и вид	Температура, град. С	Высота, мм, см.	Номинальная реактивная мощность, ватт	Номинальное рабочее напряжение постоянного тока, в	Группа ТКЕ	Пределы номинальной емкости, пф	Наибольший размер корпуса, мм. Длина × ширина × высота (или толщина)	Наибольший вес, г
КСО-1	+70	5	5	250	Б, В, Г	51—750	13,8×7,8×5,1	1,5
КСО-2	+70	5	5	250	Г	100—750	13,8×7,8×5,1	1,5
		5	10	500	А	100—680	18,8×11,8×6,3	3,0
КСО-5	+70	5	20	500	Б, В, Г	100—2400	18,8×11,8×6,3	3,0
		5	20	250	А, Б, В, Г	7500—10000	20,8×20,8×9,8	9,0
		5	500	500	А, Б, В, Г	470—3300	20,8×20,8×7,3	8,0
КСО-6	+70	5	20	500	А, Б, В, Г	3600—10000	20,8×20,8×9,8	9,0
		90	25	1000	А	1200—2700	27,8×17,3×10	11,0
КСО-7	+70	90	25	1000	Б, В, Г	100—2700	27,8×17,3×10	11,0
		90	40	1000	А, Б, В, Г	2400—3300	32,8×29,4×9,6	23,0
		90	40	1500	А, Б, В, Г	1100—2200	32,8×29,4×9,6	23,0
КСО-8	+70	90	40	2500	Б, В, Г	47—1000	32,8×29,4×9,6	23,0
		5	50	250	А, Б, В, Г	10000—30000	32,8×29,4×12	30,0
		5	50	500	А, Б, В, Г	12000—30000	32,8×29,4×12	30,0
		90	50	1000	А, Б, В, Г	7500—10000	32,8×29,4×12	30,0
		90	50	1500	А, Б, В, Г	4700—6800	32,8×29,4×12	30,0
		90	50	2000	А, Б, В, Г	3600—4300	32,8×29,4×12	30,0
		90	50	2500	А	1000—2700	32,8×29,4×12	30,0
КСО-10	+70	90	50	2500	Б, В, Г	1000—3300	32,8×29,4×12	30,0
		5	60	250	Б, В, Г	30000—50000	45,3×34,8×20	—
		5	60	500	Б, В, Г	25000—50000	45,3×34,8×20	—
		90	60	1000	Б, В, Г	18000—20000	45,3×34,8×20	—
		90	60	1500	Б, В, Г	12000—15000	45,3×34,8×20	—

Тип и вид	Температура, град. С	Высота, мм. ст.	Номинальная реактивная мощность, во	Номинальное напряжение постоянного тока, в	Группа ТКЕ	Пределы номинальной емкости, пф	Наибольший размер корпуса, мм. Длина × ширина × высота (или толщина)	Наибольший вес, г
КСО-10	+70	90	60	2000	Б, В, Г	5100—10000	45,3×34,8×20	—
		90	60	2500	Б, В, Г	3600—4700	45,3×34,8×20	—
		90	60	3000	Б, В, Г	47—1000	45,3×34,8×20	—
СГМ-1	+80	5	5	250	Б, Г	100—560	14,5×6,0×9,5	3,0
СГМ-2	+80	5	5	250	Б, Г	620—1200	14,5×7,0×10	3,5
СГМ-3	+80	5	10	500	Б, Г	100—4300	19,5×7,5×13,5	5,0
		40	10	1000	Б, Г	100—3000	19,5×7,5×13,5	5,0
		40	10	1500	Б, Г	100—1500	19,5×7,5×13,5	5,0
СГМ-4	+80	5	20	250	Б, Г	6800—10000	19,5×9,0×22	10,0
		5	20	500	Б, Г	4700—6200	19,5×9,0×22	10,0
		40	20	1000	Б, Г	3300—6800	19,5×9,0×22	10,0
		40	20	1500	Б, Г	1600—3900	19,5×9,0×22	10,0
КСГ-1	+70	5	10	500	Б, В, Г	470—20000	26,5×14,5×24,5	—
		90	10	1000	Б, В, Г	470—4700	26,5×14,5×24,5	—
КСГ-2	+70	5	15	500	Б, В, Г	0,02—0,1 мкф	33×23×45	—
		90	15	1000	Б, В, Г	0,02—0,03 мкф	33×23×45	—

Примечания: 1. Конденсаторы КСО с ТКЕ по группе А выпускаются с допусками по классам точности I, II и III; конденсаторы всех остальных видов и групп ТКЕ изготавливаются по классам точности 0, I, II и III.

2. Сопротивление изоляции конденсаторов КСО и КСГ в нормальных условиях не менее 7500 Мом и конденсаторов СГМ не менее 10000 Мом; при максимальной рабочей температуре для всех конденсаторов не менее 2500 Мом (для КСО емкостью более 1000 пф допускается снижение сопротивления изоляции до 1000 Мом).

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БУМАЖНЫХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Тип и вид	Температурная устойчивость, °C	Номинальное рабочее напряжение при постоянном токе, в	Испытательное напряжение постоянного тока, в		Пределы номинальной емкости	Изменение емкости при изменении температуры от +20° C до t _{макс} , %	Сопроотивление изоляции между обкладками не менее				
			в нормальных условиях	при пониженном атмосферном давлении			в нормальных условиях		при t _{макс}		
							для C _н , Мом	для C _н , Мом	для C _н , Мом	для C _н , Мом	
БМ	+70	1507	300	180	0,04 и 0,05 мкф	+10	5000	—	200	—	—
		2008	400	240	3300 пф — 0,03 мкф	+10	5000	—	200	—	—
		3009	600	360	510 — 2200 пф	+10	5000	—	200	—	—
БГМ БГМТ (БМТ)	+85	400	800	480	920 пф — 0,05 мкф	+10	10000	—	500	—	—
	+100	400	800	480	470 — 0,25 мкф	+10	10000	—	100	—	—
		600	1200	720	1000 пф — 0,03 мкф	+10	10000	—	100	—	—
КБГ-М	+70	200	600	240	0,04 — 0,25 мкф	+5	10000	2000	500	75	—
		400	1200	480	0,07 — 0,25 мкф	+5	10000	2000	500	75	—
		600	1800	720	0,01 — 0,15 мкф	+5	10000	—	500	—	—
КБГ-И	+70	200	600	240	680 — 4700 пф;	+5	10000	—	500	—	—
		400	1200	480	0,02 — 0,1 мкф	+5	10000	—	500	—	—
		600	1800	720	470 — 1500 пф;	+5	10000	—	500	—	—
		600	1800	720	0,015 — 0,05 мкф	+5	10000	—	500	—	—
		600	1800	720	470 — 6800 пф;	+5	10000	—	500	—	—
		600	1800	720	0,01 — 0,03 мкф	+5	10000	—	500	—	—

Тип и вид	Темперостойчивость, t _{макс} , °C	Номинальное рабочее напряжение постоянного тока, в	Испытательное напряжение постоянного тока, в		Пределы номинальной емкости	Изменение емкости при изменении температуры от +20°С до t _{макс} , %	Сопротивление изоляции между обкладками не менее			
			в нормальных условиях	при пониженном атмосферном давлении			в нормальных условиях		при t _{макс}	
							для С < 0,1 мкф, Мом	для С > 0,25 мкф, Мом	для С < 0,1 мкф, Мом	для С > 0,25 мкф, Мом
КБГ-МП	+70	200	600	240	0,05—2 мкф; 2×(0,25—0,5) мкф; 3×(0,1—0,25) мкф; 0,25 мкф; 2×0,25 мкф; 3×0,1 мкф; 0,25—1 мкф;	±5	10000	2000	500	75
		400	1200	480	0,05—2 мкф; 2×(0,1—0,5) мкф; 3×(0,1—0,25) мкф; 0,01—0,5 мкф;	±5	10000	2000	500	75
		600	1800	720	2×(0,05—0,25) мкф; 2×(0,05—0,1) мкф; 0,01—0,25 мкф;	±5	10000	2000	500	75
		1000	3000	1200	2×(0,05—0,25) мкф; 2×(0,05—0,1) мкф; 0,01—0,25 мкф;	±5	10000	2000	500	75
		1500	3000	1800	2×(0,05—0,1) мкф; 1—10 мкф; 2×(1—2) мкф; 1—8 мкф; 2×(0,5—2) мкф; 0,5—6 мкф; 2×(0,5—2) мкф; 0,25—4 мкф;	±5	10000	2000	500	75
КБГ-МН	+70	200	600	240	0,05—2 мкф; 2×(0,25—0,5) мкф; 3×(0,1—0,25) мкф; 0,25 мкф; 2×0,25 мкф; 3×0,1 мкф; 0,25—1 мкф;	±5	10000	2000	500	75
		400	1200	480	0,05—2 мкф; 2×(0,1—0,5) мкф; 3×(0,1—0,25) мкф; 0,01—0,5 мкф;	±5	10000	2000	500	75
		600	1800	720	2×(0,05—0,25) мкф; 2×(0,05—0,1) мкф; 0,01—0,25 мкф;	±5	10000	2000	500	75
		1000	3000	1200	2×(0,05—0,25) мкф; 2×(0,05—0,1) мкф; 0,01—0,25 мкф;	±5	10000	2000	500	75
		2000	3000	2400	2×(0,25—2) мкф;	±5	10000	2000	500	75

Тип и вид	Температура, °C t _{макс}	Номинальное рабочее напряжение постоянного тока, в	Испытательное напряжение постоянного тока, в		Пределы номинальной емкости	Изменение емкости при изменении температуры от +20°С до t _{макс} , %	Сопrotивление изоляции между обкладками не менее			
							в нормальных условиях			
			в нормальных условиях	при пониженном атмосферном давлении			для C _к , Мом ¹	для C _к , Мом ¹	при t _{макс}	для C _к , Мом ¹
КБГ-МН	+70	1500	3000	1800	0,25—2 мкф; 2(0,25—1) мкф	+5	—	—	—	75
БМ-Т2С	+70	400	1200	480	0,125 мкф	+10	—	—	—	100
КБМ-31	+70	50	200	60	4 мкф	+5	—	—	—	100
КБМ-61, 63	+70	250	750	300	2×0,5 мкф	+5	—	—	—	100
КБМ-62	+70	400	1200	480	1 мкф	+5	—	—	—	100
КБМ-14—30	+70	600	1800	720	0,05; 0,5; 2; 4; 2×0,1; 3×0,2 мкф	+5	—	—	—	100
КБМ-33	+70	1000	3000	1200	0,5 мкф	+5	5000	1000	500	100
КБМ-5	+70	1500	4000	1800	2 мкф	+5	—	1000	—	100
БГТ	+100 ²	200	600	240	0,5—10 мкф; 2×(0,25—2) мкф	+10	—	2000	—	30
		(300 ³)	1200	480	0,25—8 мкф; 2×(0,25—2) мкф	+10	—	2000	—	30
		(600 ³)	1800	720	0,25—6 мкф; 2×(0,1—2) мкф	+10	8000	2000	300	30
		(1000 ³)	3000	1200	0,01—4 мкф; 2×(0,05—2) мкф	+10	8000	2000	300	30
		1000								
		(1500 ³)								

Тип и вид	Температура, °С	Номинальное рабочее напряжение постоянного тока, В	Испытательное напряжение постоянного тока, В		Пределы номинальной емкости	Изменение емкости при изменении температуры от +200°С до t _{макс} , %	Сопротивление изоляции между обкладками не менее			
							в нормальных условиях		при t _{макс}	
			в нормальных условиях	при пониженном атмосферном давлении			для C _н , Мом ¹	для C _н , Мом ¹	для C _н , Мом ¹	для C _н , Мом ¹
БГТ	+100 ²	1500 (2000 ³)	3000	1800	0,01 — 2 мкФ 2 × (0,05 — 1) мкФ 0,05 и 0,1 мкФ	±10	8000	2000	300	30
КБП-Р	+70	110(504)	330	132(604)	0,025 и 0,05 мкФ	±85	10000	2000	5005	505
		250(1274)	750	300(1554)	0,025 мкФ	±85	10000	2000	5005	505
КБП-Ф, КБП-С	+70	500(2204)	1500	600(2654)	0,1 — 2 мкФ	±85	10000	2000	5005	505
		110(504)	330	132(604)	0,05 — 2 мкФ ⁶	±85	10000	2000	5005	505
		250(1274)	750	300(1554)	0,025 — 1 мкФ	±85	10000	2000	5005	505
		500(2204)	1500	600(2654)	0,025 — 0,5 мкФ	±85	10000	2000	5005	505
		1000(3804)	3000	1200(4554)	0,025 — 0,25 мкФ	±85	10000	2000	5005	505
		1500(5004)	3000	1800(6004)		±1	10000	2000	5005	505

- 1 Для конденсаторов КБГ-М, КБГ-И, КБГ-МП при номинальных емкостях $C \leq 0,2$ мкФ и для конденсаторов БГМТ всех емкостей.
 2 Конденсаторы могут работать при 125°С в течение 100 час.
 3 В скобках указано допустимое напряжение постоянного тока при $t \leq 85^\circ\text{C}$.
 4 В скобках указано эффективное напряжение переменного тока ($f = 50$ Гц).
 5 При температуре корпуса конденсатора 85°С.
 6 Конденсаторы с рабочим током 40 и 70 А через стержень изготавливаются только с номинальными емкостями 0,1 и 0,25 мкФ.
 7 Предельные напряжения переменного тока (эффективные значения): 100 В при $f = 50$ Гц, 60 В при $f = 500$ Гц и 30 В при $f = 1000$ Гц.
 8 Предельные напряжения переменного тока (эффективные значения): 150 В при $f = 50$ Гц, 75 В при $f = 500$ Гц и 40 В при $f = 1000$ Гц.
 9 Предельные напряжения переменного тока (эффективные значения): 230 В при $f = 50$ Гц, 120 В при $f = 500$ Гц и 60 В при $f = 1000$ Гц.

Таблица 10

**НАИБОЛЬШИЕ ДОПУСТИМЫЕ
АМПЛИТУДЫ ПЕРЕМЕННОЙ
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ U_m
В ПРОЦЕНТАХ ОТ НОМИНАЛЬНЫХ
РАБОЧИХ НАПРЯЖЕНИЙ U_n
ПОСТОЯННОГО ТОКА БУМАЖНЫХ
И МЕТАЛЛОБУМАЖНЫХ
КОНДЕНСАТОРОВ**

Частота f , гц	$\frac{U_m}{U_n}$, %
50	20
100	15
400	10
1000	5
10000	2

Таблица 11

**НАИБОЛЬШИЕ ДОПУСТИМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО
И ИМПУЛЬСНОГО ТОКОВ ДЛЯ КОНДЕНСАТОРОВ КБГ-И,
КБГ-М, КБГ-МП и КБГ-МН**

Номинальное рабочее напряжение постоянного тока, в	Предельное эффективное напряжение переменного тока, в				Предельное импульсное напряжение, в при частоте следования импульсов не более 1000, длительности импульса 0,5 — 5 мксек и токе до 50 а		
	при $f = 50$ гц		при $f = 500$ гц		для $C < 0,01$ мкф	для $C = 0,01 - 0,1$ мкф	для $C = 0,1 - 1$ мкф
	для $C \leq 2$ мкф	для $C \geq 4$ мкф	для $C \leq 2$ мкф	для $C \geq 4$ мкф			
200	160	130	100	50	150	100	60
400	250	200	125	75	250	150	100
600	300	250	150	100	350	250	150
1000	400	350	200	150	500	300	200
1500	500	—	250	—	600	400	300

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БУМАЖНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Тип и вид	Теплоустойчивость, $t_{\text{макс}}$, °C	Высота, мм <i>рт. ст.</i>	Номинальное рабочее напряжение постоянного тока, кВ	Испытательное напряжение постоянного тока, кВ		Пределы номинальной емкости, мкФ	Классы точности
				в нормальных условиях	при пониженном атмосферном давлении		
КБГ-Ц	+70	90	2	4	2,2	0,25—2	I, II, III, IV
		90	3	6	3,3	0,05—1	I, II, III, IV
		90	4	8	4,4	0,1—0,5	I, II, III, IV
		760	6	12	—	0,05—0,25	I, II, III, IV
		760	8	16	—	0,01—0,05	I, II, III, IV
		760	10	20	—	0,01—0,05	I, II, III, IV
		760	15	30	—	0,01—0,25	I, II, III, IV
КБГ-П	+70	90	2	4	2,2	0,01—10	I, II, III, IV
		90	3	6	3,3	0,1—6	I, II, III, IV
		90	4	8	4,4	0,05—6	I, II, III, IV
		760	6	12	—	0,01—4	I, II, III, IV
		760	8	16	—	0,1—2	I, II, III, IV
		760	10	20	—	0,01—2	I, II, III, IV
		760	15	30	—	0,01—2	I, II, III, IV
		760	20	30	—	0,1—0,5	I, II, III, IV
БМВ	+70	760	30	45	—	0,1—0,5	I, II, III, IV
		760	7	14	—	2×0,1	—
		760	8	16	—	2×0,15	—
БМВ-К5	+70	760	16	24	—	0,05	—
		760	7,5	15	—	0,03	—
		760	2	4	2,2	0,4	—
БМ-С1	+70	90	2	4	2,2	0,4	—
КБТ-С61	+85	500	9/1	18/2	9,9/1,1	2×0,2	I, II
КБТ-С69	+85	500	10	20	12	0,1	I, II, III
КБТ-С138	+85	500	10	20	11	0,022	I, II
КБТ-С170	+85	500	18	27	19,8	0,05	I, II
БТС-П	+85	500	8/16	16/24	9,6/19,2	2×0,1	I, II, III
БТС-Ц	+85	500	16	24	19,2	0,03	I, II, III
КБМ-101	+85	400	10/10	20/20	12/12	2×0,2	III

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МЕТАЛЛОБУМАЖНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Тип и вид	Темперостойчивость $t_{\text{макс}}$, град. С	Номиналь- ное рабо- чее напря- жение постоян- ного тока, в	Испытательное напряжение постоян- ного тока, в		Пределы номинальной емкости, мкф	Изменение емкости по сравнению с $t=20^{\circ}\text{C}$ при $t_{\text{макс}}$, %	Сопротивление изоляции между обкладками не менее			
			в нормаль- ных усло- виях	при пони- женном атмосфер- ном дав- лении			в нормальных условиях			
							для С до 0,1 мкф, Мом	для С >0,1 мкф, Мом-мкф	для С до 0,1 мкф, Мом	при $t_{\text{макс}}$ для С >0,1 мкф, Мом-мкф
МБМ	+70	160	240	192	0,05—1	+5 —10	2000	200	20	
МБГЦ	+70	200	300	240	0,25—1	+5 —10	—	500 ¹	30 ¹	
	+70	400	600	480	0,1—0,5	+5 —10	5000	1000	50	
	+70	600	900	720	0,025—0,25	+5 —10	5000	1000	50	
МБГП	+70	1000	1500	1200	0,05 и 0,1	+5 —10	5000	—	—	
	+60	160 ²	240	192	1—30; 2×0,5	+5 —10	—	200 ³	40 ³	

¹ Выпускаются также конденсаторы с сопротивлением изоляции ниже указанной величины, но не менее 100 Мом-мкф (при $t_{\text{макс}}$ не менее 15 Мом-мкф); они имеют на корпусе дополнительную маркировку буквой Б.

² До 1955 года выпускались под названием КМБГ.

³ Выпускаются также с сопротивлением изоляции ниже 200 Мом-мкф, но не менее 50 Мом-мкф (при $t_{\text{макс}}$ не менее 20 Мом-мкф).

Тип и вид	Температура t _{макс} , град. С	Номиналь- ное рабо- чее напря- жение постоян- ного тока, в	Испытательное напряжение постоян- ного тока, в		Пределы номинальной емкости, мкф	Изменение емкости по сравнению с t=20°C при t _{макс} , %	Сопротивление изоляции между обкладками не менее			
			в нормаль- ных усло- виях	при пони- женном атмосфер- ном дав- лении			в нормальных условиях		при t _{макс}	
							для С до 0,1 мкф, Мом	для С>0,1 мкф, Мом-мкф		для С до 0,1 мкф, Мом
МБГП	+70	200	300	240	0,5—25; 2×(0,25—0,5) 1—10; 2×0,5 0,25—10; 2×0,1 0,1—10 0,5—10 0,25—10	+5 -10 +5 -10 +5 -10 +5 -10 +5 -10	— — — 5000 5000 — — — — —	5004 2003 1000 1000 1000 1000 200 200	— — 500 500 — — — —	304 403 50 50 50 50 40 40
	+60	250 ²	375	300		—	—	—	—	—
	+70	400 ²	600	480		—	—	—	—	—
	+70	600 ²	900	720		—	—	—	—	—
	+70	1000	1500	1200		—	—	—	—	—
	+70	1500	2250	1800		—	—	—	—	—
МБГО	+60	160	160	160	2—30	+5 -10	— —	200 200	— —	40 40
	+60	300	300	300	1—30	+5	—	—	—	—

² До 1955 года выпускались под названием КМБГ.

³ Выпускаются также с сопротивлением изоляции ниже 200 Мом·мкф, но не менее 50 Мом·мкф (при t_{макс} не менее 20 Мом·мкф).

⁴ Для конденсаторов емкостью свыше 40 мкф допускается снижение сопротивления изоляции до 300 Мом·мкф. Выпускаются также конденсаторы емкостью от 0,25 мкф и выше с сопротивлением изоляции не менее 100 Мом·мкф (при t_{макс} не менее 25 Мом·мкф); они имеют на корпусах дополнительную маркировку буквой Б.

Тип и вид	Темперостойчивость °Макс, град. С	Номиналь- ное рабо- чее напря- жение постоян- ного тока, в	Испытательное напряжение постоян- ного тока, в		Пределы номинальной емкости, мкф	Изменение емкости по сравнению с t=20°С при t _{макс} , %	Сопротивление изоляции между обкладками не менее			
			в нормаль- ных усло- виях	при полн- женном атмосфер- ном дав- лении			в нормальных условиях		при t _{макс}	
							для С до 0,1 мкф, Мом	для С > 0,1 мкф, Мом·мкф	для С до 0,1 мкф, Мом	для С > 0,1 мкф, Мом·мкф
МБГО	+60	400	400	400	1—20	+5	—	200	—	40
	+60	500	500	500	0,5—20	+5	—	200	—	40
	+60	600	600	600	0,25—10	+5	—	200	—	40
МБГН	+70 ^б	200	300	240	1; 2; 4; 9; 14; 18; 27	-10 ^б	—	500	—	30 ^б
	+100	160	320	176	1—20	+5	—	1000	—	5
		(250 ^б)	600	330	0,5—10	-12	—	1000	—	5
МБГТ	+100	(500 ^б)	1000	550	0,25—10	+5	—	1000	—	12
	+100	(750 ^б)	1500	825	0,1—10	-12	5000	1000	150	12
	+100	(1000 ^б)	2000	1100	0,1—10	+5	5000	1000	150	12
	+100	(1300 ^б)				-12				

^б Кратковременно могут эксплуатироваться при 100°C ; при этом емкость может измениться от $+5$ до -12% , а сопротивление изоляции снизиться до 3 Мом·мкф.

^б В скобках указаны допустимые рабочие напряжения при $t \leq 85^\circ\text{C}$.

Тип и вид	Температура макс. град. С	Номиналь- ное рабо- чее напря- жение постоян- ного тока, в	Испытательное напряжение постоян- ного тока, в		Пределы номинальной емкости, мкф	Изменение емкости по сравнению с $t=20^{\circ}\text{C}$ при $t_{\text{макс}}$, %	Сопротивление изоляции между обкладками не менее			
			в нормаль- ных усло- виях	при пони- женном атмосфер- ном дав- лении			в нормальных условиях		при $t_{\text{макс}}$	
							для С до 0,1 мкф, Мом	для С > 0,1 мкф, Мом-мкф	для С до 0,1 мкф, Мом	для С > 0,1 мкф, Мом-мкф
МБГЧ	+70	1507	1808	1658	2, 4, 10	± 5	—	20	—	
	+70	2507	3258	2758	0,5; 1; 2; 4; 10	± 5	—	1000	—	
	+70	5007	6508	5508	0,25; 0,5; 1; 2; 4	± 5	—	1000	—	
	+70	7507	9758	8258	0,25; 0,5; 1; 2	± 5	—	1000	—	
	+70	10007	13008	11008	0,25; 0,5; 1	± 5	—	1000	—	

7 Номинальное рабочее напряжение переменного тока при частоте 50 гц; при $f=100$ гц рабочее напряжение не должно превышать 75%, а при $f=500$ гц — 50% указанного. Допускается периодическая нагрузка в течение 10 сек (за каждый период) номинальным рабочим напряжением с частотой 500 гц.

8 Напряжения переменного тока с частотой 50 гц.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНОЧНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Электрическая или механическая характеристика	Полнстирол (стирофлекс)	Фторопласт-4 (тефлон)	Фторопласт-3	Терилон (лавсан)
Диэлектрическая проницаемость	2,0—2,8*	1,9—2,2*	2,5—3,3**	3,2—4**
Тангенс угла диэлектрических потерь	0,0001—0,0010*	0,0001—0,0003*	0,010—0,030**	0,010—0,02**
Удельное объемное сопротивление, $\frac{\text{ОМ} \cdot \text{СМ}^2}{\text{СМ}}$	10 ¹⁵ —10 ¹⁹	10 ¹⁶ —10 ¹⁷	10 ¹⁶ —10 ¹⁸	10 ¹⁶ —10 ¹⁷
Удельное поверхностное сопротивление, $\frac{\text{ОМ} \cdot \text{СМ}}{\text{СМ}}$	10 ¹⁵ —10 ¹⁷	10 ⁵	—	—
Электрическая прочность пленки, $\frac{\text{КВ}}{\text{ММ}}$	—	70—80	160—200	150—200
Удельный вес, $\frac{\text{г}}{\text{СМ}^3}$	1,05—1,65	2,1—2,3	2,14	1,4—1,57
Молекулярный вес	40000—150000	—	—	30000
Температура размягчения, °С	70—85	—	—	≈260

* На частотах от 50 гц до 1 Мгц.

** На частоте 50 гц.

Электрическая или механическая характеристика	Полистирол (стирофлекс)	Фторопласт-4 (тефлон)	Фторопласт-3	Терилен (лавсан)
Температура плавления, °C	—	327	≈210	230—260
Температура разложения, °C	—	>400	>315	—
Предел прочности при растяжении, $\frac{\kappa\Gamma}{\text{см}^2}$	—	140—250	300—400	—
Предел прочности на разрыв, $\frac{\kappa\Gamma}{\text{см}^2}$	300—500	250—500	—	5000—6000
Удлинение при разрыве, %	—	250—500	100—200	—
Твердость по Бринеллю, $\frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2}$	12—21	3—4	10—13	—
Водопоглощение, %***	0—0,05	0	0	0,25—0,45

*** Увеличение веса после 24-часового пребывания в воде.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Тип	Теплоустойчивость $t_{\text{макс}}$, град. С	Высотность, мм рт. ст.	Номинальное рабочее напряжение, в			Испытательное напряжение постоянного тока, в	
			постоянного тока	переменного тока (эффективное)	импульсное амплитудное	в нормальных условиях	при минимальном атмосферном давлении
ПМ	+70	5	60	601	—	120	72
ПО	+50	750±30	300	—	—	450	—
ПГ-И	+60	5	300	150 ⁶	—	450	300
ПГ-М	+60	5	500	250 ⁶	—	750	500
		5	160	100 ⁶	—	240	160
		5	300	150 ⁶	—	450	300
		5	500	250 ⁶	—	750	500
ФТ	+200 ⁷	5	200	200 ⁸	—	300	240
		20	600	250 ⁸	—	900	720
ФГТ	+200 ⁷	5	200	200 ⁸	—	300	240
		20	600	250 ⁸	—	900	720
ФТН	+200	5	200 ¹¹	100 ¹²	—	300	240
		19	600 ¹¹	200 ¹³	—	900	720
		400	1000 ¹¹	250 ⁸	—	1500	1200
		400	1500 ¹¹	250 ⁸	—	2250	1800
ФГТН	+200	19	400 ¹¹	200 ⁸	—	600	480
		400	1000 ¹¹	250 ⁸	—	1500	1200
		400	1500 ¹¹	250 ⁸	—	2250	1800
		450	2000	1000	1000 ¹⁰	3000	2200
ФГТ-И	+150	450	4000	1000	1500 ¹⁰	6000	4400
		450	8000	1000	2000 ¹⁰	12000	8800
		450	10000	2000	3000 ¹⁰	15000	11000
		450	12000	2000	4000 ¹⁰	18000	13200
		450	15000	3000	5000 ¹⁰	22500	16500
		450	20000	3000	7000 ¹⁰	25000	22000
		450	25000	4000	10000 ¹⁰	30000	27500

¹ Но не более вычисленного по формуле, приведенной на стр. 17, при $P_r = 2$ ва.

² Для ПМ-1.

³ Для ПМ-2.

⁴ Конденсаторы ПО емкостью до 82 пф выпускаются только по классу точности III; точности I — от 2200 пф и выше.

⁵ По классу точности 00 выпускаются конденсаторы только емкостью от 0,01 мкф

⁶ Амплитудное значение напряжения при частоте переменного тока не более 500 гц; емкостью более 1 мкф на частотах выше 1 кгц не применяются.

⁷ Допускается работа при 250°C в течение 25 час.

⁸ При частоте не выше 10 кгц.

⁹ По классу точности I выпускаются конденсаторы только емкостью более 0,015

¹⁰ При частоте повторения 1 кгц.

¹¹ При температуре выше 150°C напряжение должно быть снижено на 30%.

¹² При частоте не выше 10 кгц; при частоте до 400 гц рабочее напряжение до 160 в.

¹³ При частоте не выше 10 кгц; при частоте до 400 гц рабочее напряжение до 250 в.

¹⁴ При $C > 0,1$ мкф сопротивление изоляции равно 50000 ом.

¹⁵ При $C > 0,1$ мкф сопротивление изоляции равно 5000 ом.

ПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Пределы номинальной емкости	Классы точности	Сопротивление изоляции между выводами не менее			
		в нормальных условиях		при $t_{\text{макс}}$	
		для $C \leq 0,1$ мкф, Мом	для $C > 0,1$ мкф, Мом мкф	для $C \leq 0,1$ мкф, Мом	для $C > 0,1$ мкф, Мом мкф
100—1000 пф	II, III	50000	—	25000 ² 25000 ³	—
51 пф—0,03 мкф	I, II, III ⁴	10 млн	—	—	—
3000 пф—0,02 мкф	00; 0; I; II ⁵	50000	5000	25000	2500
3000 пф—0,01 мкф	00; 0; I; II ²	50000	5000	25000	2500
0,25—2 мкф	00; 0; I; II	50000	5000	25000	2500
0,025—0,1 мкф	00; 0; I; II	50000	5000	25000	2500
0,015—0,05 мкф	00; 0; I; II	50000	5000	25000	2500
510 пф—0,5 мкф	I, II, III ⁹	50000 ¹⁴	—	5000 ¹⁵	—
510 пф—0,25 мкф	I; II; III	50000 ¹⁴	—	5000 ¹⁵	—
0,5 мкф	I, II, III	50000 ¹⁴	—	5000 ¹⁵	—
0,25 мкф	I; II, III	50000 ¹⁴	—	5000 ¹⁵	—
1000 пф—0,25 мкф	I, II, III	100000	5000	5000	500
1000 пф—0,1 мкф	I, II, III	100000	5000	5000	500
1000 пф—0,05 мкф	I, II, III	100000	5000	5000	500
1000 пф—0,05 мкф	I, II, III	100000	5000	5000	500
0,25—1 мкф	I, II, III	100000	5000	5000	500
0,1—0,5 мкф	I, II, III	100000	5000	5000	500
0,1—0,5 мкф	I, II, III	100000	5000	5000	500
0,01—0,1 мкф	II, III	20000	—	50000	—
0,003—0,1 мкф	II, III	20000	—	50000	—
0,002—0,025 мкф	II, III	20000	—	50000	—
0,025 и 0,01 мкф	II, III	20000	—	50000	—
4700 пф—0,015 мкф	II, III	20000	—	50000	—
3300 пф—0,02 мкф	II, III	20000	—	50000	—
1000 и 2200 пф	II, III	20000	—	50000	—
750 и 1800 пф	II, III	20000	—	50000	—

по классу точности II выпускаются конденсаторы емкостью от 150 пф и выше, по классу и выше.
при $f \leq 10$ кГц напряжение не более 100 в и при $f > 10$ кГц — не более 50 в; конденсаторы

мкф:

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МЕТАЛЛОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Тип	Температура воздуха, град. С	Высота, м	Номинальное рабочее напряжение постоянного тока, в	Предельное рабочее напряжение переменного тока, в при частоте			Испытательное напряжение постоянного тока, в		Пределы номинальной емкости	Допустимые отклонения от номинальной емкости, %	
				до 500 гц	500 гц—10 кГц	свыше 10 кГц	в нормальных условиях	при минимальном давлении атмосферы			
МПГ-Ц	+60	19 40	500 1000	250 250	100 100	50 50	1000 2000	600 1200	3000 пф—0,02 мкф 3000 пф—0,01 мкф	$\pm 2; \pm 5; \pm 10$ $\pm 2; \pm 5; \pm 10$	
	МПГ-П	+60	19 19 40	250 500 1000	125 250 250	100 100 100	— 50 50	500 1000 2000	300 600 1200	0,25—2 мкф 0,025—0,1 мкф 0,015—0,05 мкф	$\pm 1; \pm 2; \pm 5; \pm 10$ $\pm 1; \pm 2; \pm 5; \pm 10$ $\pm 1; \pm 2; \pm 5; \pm 10$
МПГ-Т		+80	760 760 760	250 250 500	— — —	— — —	— — —	375 375 750	— — —	0,2; 0,25 и 0,5 мкф 1 и 2 мкф 0,1 мкф	$\pm 0,2; \pm 0,5$ $\pm 0,1; \pm 0,2; \pm 0,5$ $\pm 0,5$

Примечания: 1. Морозоустойчивость конденсаторов МПГ-Ц и МПГ-П минус 60°C; конденсаторы МПГ-Т рассчитаны на эксплуатацию при температуре не ниже 0°C и относительной влажности не выше 80%.

2. Сопротивление изоляции между обкладками конденсатора в нормальных условиях: при номинальной емкости до 0,1 мкф — не менее 50000 Мом и при большей номинальной емкости — не менее 50000 Мом·мкф; при максимальной рабочей температуре сопротивление изоляции может снизиться вдвое.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

Тип и группа холодо- устойчивости	Номинальное рабо- чее напряжение, в	Холодоустойчивость $t_{\text{мин}}$, град. С	Теплоустойчивость $t_{\text{макс}}$, град. С	Допустимое откло- нение емкости от номинальной, %	Изменение емкости по сравнению с емкостью при 20°C		Тангенс угла потерь при 20°C
					$t_{\text{мин}}$, %	$t_{\text{макс}}$, %	
КЭ-Н	8—50	-10	+ 60	+50 ÷ -20	-50	+30	0,04—0,21
	150—500	-10	+ 60	+50 ÷ -20	-50	+30	0,02—0,152
КЭ-М, } ЭГЦ-М, } КЭГ-М } КЭ-ПМ	6—50	-40	+ 60	+50 ÷ -20	-50	+30	0,04—0,21
	150—500	-40	+ 60	+50 ÷ -20	-50	+30	0,02—0,12
	20—50	-50	+ 60	+50 ÷ -20	-50	+15	0,04—0,21
	150—450	-50	+ 60	+50 ÷ -20	-50	+15	0,02—0,12
КЭ-ОМ, } ЭГЦ-ОМ, } КЭГ-ОМ } ЭМ-Н	20—50	-60	+ 60	+50 ÷ -20	-50 ³	+15	0,04—0,21
	150—450	-60	+ 60	+50 ÷ -20	-50 ³	+15	0,02—0,12
	4 и 6	-10	+ 70	+100 ÷ 0	-60	—	—
	10—150	-10	+ 70	+100 ÷ 0	-50	—	—
ЭМ-М	4 и 6	-40	+ 70	+100 ÷ 0	-60	—	—
	10—100	-40	+ 70	+100 ÷ 0	-50	—	—
ЭМ-ОМ	20—100	-60	+ 70	+100 ÷ 0	-50	—	—
ЭТ, ЭТН	6	-60	+100	+50 ÷ -20	-50	+30	<0,154
	15—30	-60	+100	+50 ÷ -20	-30	+15	<0,14
	60—150 ⁵	-60	+100	+50 ÷ -20	-20	+10	<0,05 ⁶
ЭТО	4—15	-60	+100	+50 ÷ -20	-50	+20	0,04—0,27
	30—70 ⁹	-60	+100	+50 ÷ -20	-40	+20	0,04—0,18

1 После 500 час работы под номинальным рабочим напряжением при 60°C тангенс угла потерь не более 0,3.

2 После 500 час работы под номинальным рабочим напряжением при 60°C тангенс угла потерь не более 0,2.

3 У конденсаторов КЭ-ОМ и КЭГ-ОМ на номинальные рабочие напряжения от 20 в и выше емкость снижается не более чем на 40%.

4 При -60°C тангенс угла потерь не более 0,5.

5 При окружающей температуре от 85°C и выше конденсаторы с номинальными рабочими напряжениями 100 и 150 в могут работать под напряжением не выше 80 и 100 в соответственно.

6 При -60°C тангенс угла потерь не более 0,3.

7 При -60°C тангенс угла потерь не более 1,0.

8 При -60°C тангенс угла потерь не более 0,7.

9 Конденсаторы с номинальным рабочим напряжением 70 в могут непродолжительное время работать под напряжением 90 в.

**НАИБОЛЬШИЕ ДОПУСТИМЫЕ АМПЛИТУДЫ ПЕРЕМЕННОЙ
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ U_m ЧАСТОТЫ 50 Гц
В ПРОЦЕНТАХ ОТ НОМИНАЛЬНЫХ РАБОЧИХ НАПРЯЖЕНИЙ
 U_H ПОСТОЯННОГО ТОКА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ
КОНДЕНСАТОРОВ С АЛЮМИНИЕВЫМИ АНОДАМИ КЭ, ЭГЦ И КЭГ**

Номиналь- ная емкость, мкф	Амплитуда переменной составляющей U_m в процентах от номинального рабочего напряжения			
	для конденсаторов групп Н и М с номинальным рабочим напряжением		для конденсаторов групп ПМ и ОМ с номинальным рабочим напряжением	
	$U_H = 6 - 50 \text{ в}$	$U_H = 125 - 500 \text{ в}$	$U_H = 20 - 50 \text{ в}$	$U_H = 150 - 450 \text{ в}$
2—20	15	10	25	10
30—100	10	6	15	8
Более 100	5	—	8	—

Таблица 19

**НАИБОЛЬШИЕ ДОПУСТИМЫЕ АМПЛИТУДЫ ПЕРЕМЕННОЙ
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ U_m В ПРОЦЕНТАХ
ОТ НОМИНАЛЬНЫХ РАБОЧИХ НАПРЯЖЕНИЙ
 U_H ПОСТОЯННОГО ТОКА ТАНТАЛОВЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ
КОНДЕНСАТОРОВ ЭТ, ЭТН И ЭТО**

Частота, Гц	Амплитуда переменной составляющей U_m в процентах от номинального рабочего напряжения			
	для конденсаторов ЭТ и ЭТН с номинальным рабочим напряжением		для конденсаторов ЭТО с номи- нальным рабочим напряжением	
	$U_H = 6 - 30 \text{ в}$	$U_H = 60 - 150 \text{ в}$	$U_H = 4 - 15 \text{ в}$	$U_H = 30 - 70 \text{ в}$
50	30	20	20	10
100	20	15	12	5
500	10	7	7	3
1000	7	5	5	2
2000	3	2	3	1

ШКАЛА НОМИНАЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН НЕПРОВОЛОЧНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

ОМЫ			КИЛООМЫ			МЕГОМЫ
1,0	10	100 ¹	1,0 ²	10 ³	100 ³	1,0 ³
1,1	11	110	1,1	11	110	1,1
1,2	12	120 ¹	1,2 ¹	12 ¹	120 ¹	1,2 ¹
1,3	13	130	1,3	13	130	1,3
1,5	15	150 ¹	1,5 ²	15 ³	150 ³	1,5 ³
1,6	16	160	1,6	16	160	1,6
1,8	18	180 ¹	1,8 ¹	18 ¹	180 ¹	1,8 ¹
2,0	20	200	2,0	20 ⁴	200 ⁴	2,0 ⁴
2,2	22	220 ¹	2,2 ²	22 ²	220 ²	2,2 ²
2,4	24	240	2,4	24	240	2,4
			2,5 ⁵	25 ⁵	250 ⁵	2,5 ⁵
2,7	27	270 ¹	2,7 ¹	27 ¹	270 ¹	2,7 ¹
3,0	30	300	3,0	30	300	3,0
3,3	33	330 ¹	3,3 ²	33 ²	330 ²	3,3 ²
3,6	36	360	3,6 ⁴	36 ⁴	360 ⁴	3,6 ⁴
3,9	39	390 ¹	3,9 ¹	39 ¹	390 ¹	3,9 ¹
4,3	43	430	4,3	43	430	4,3
4,7	47 ¹	470 ²	4,7 ²	47 ²	470 ²	4,7 ²
			5,0 ⁵	50 ⁵	500 ⁵	5,0 ⁵
5,1	51 ¹	510 ¹	5,1 ¹	51 ¹	510 ¹	5,1
5,6	56 ¹	560 ¹	5,6 ¹	56 ¹	560 ¹	5,6
6,2	62	620	6,2	62	620	6,2
6,8	68 ¹	680 ²	6,8 ²	68 ²	680 ²	6,8
7,5	75	750	7,5 ⁴	75 ⁴	750 ⁴	7,5 ⁴
8,2	82 ¹	820 ¹	8,2 ¹	82 ¹	820 ¹	8,2
9,1	91 ¹	910	9,1	91	910	9,1
						10,0

Переменные сопротивления типа СПО изготавливаются с номинальными значениями, отмеченными индексами 1, 2, 3.

Переменные сопротивления СП изготавливаются с номинальными значениями, отмеченными индексами 2, 3.

Переменные сопротивления типа ТК и ВК изготавливаются с номинальными значениями, отмеченными индексами 3, 4, 5.

Сопротивления других типов, кроме ТК и ВК с номинальными значениями, отмеченными индексом 5, не изготавливаются.

Наибольшая и наименьшая номинальная величина сопротивлений различных типов указана в табл. 21, 23 и 24.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НЕПРОВОЛОЧНЫХ ПОСТОЯН

Тип и вид	Номинальная мощность, <i>вт</i>	Предельная рабочая температура, град. С			Номинальная величина ²		Предельное рабочее и испытательное напряжение, <i>в</i>		
		окружающей среды		перегрева при номинальной мощности	от, <i>ом</i>	до, <i>Мом</i>	постоянного и переменного токов (эффективное) при атмосферном давлении ³		импульсное амплитудное при 40 мм рт. ст.
		без снижения мощности ¹	со снижением мощности $i_{\text{макс}}$				40 мм рт. ст.	5 мм рт. ст.	
УЛМ-0,12 (BC-0,12)	0,12	+40	+100	30	27	1,0	100		400
BC-0,25	0,25	+40	+100	35	27	5,1	350	350	750
BC-0,5	0,5	+40	+100	50	27	10,0	500	400	1000
BC-1	1	+40	+100	65	47	10,0	700	500	1500
BC-2	2	+40	+100	90	47	10,0	1000	750	2000
BC-5	5	+40	+100	100	47	10,0	1500	800	5000
BC-10	10	+40	+100	80	75	10,0	3000	1000	10000
BC-15	15	+40	+100	—	51	1,0	3000 ⁴	—	6000 ⁴
BC-30	30	+40	+100	—	51	0,056	5000 ⁴	—	10000 ⁴
BC-60	60	+40	+100	—	51	0,001	10000 ⁴	—	15000 ⁴
BC-100	100	+40	+100	—	51	0,001	15000 ⁴	—	20000 ⁴
МЛТ-0,5	0,5	+70 ⁵	+120	55	100	5,1	350	300	750
МЛТ-1	1	+70 ⁵	+120	85	100	10,0	500	320	1000
МЛТ-2	2	+70 ⁵	+120	110	100	10,0	750	350	1200
ММЛТ	0,25	—	+120	—	100	3,0	200	—	—

¹ При длительной работе в условиях более высоких температур для на 1°C по сравнению с номинальной.

² Промежуточные значения — согласно табл. 19.

³ При этом не более вычисленного по формуле, приведенной на стр. 107.

⁴ При атмосферном давлении 90 *мм рт. ст.*

⁵ При длительной работе при 70°C и атмосферном давлении 40 *мм*

НЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

ТКС не более % в интервалах				Коэффициент влагоустойчивости не более, %		Наибольший размер корпуса, мм		Вес не более, г
-60 ÷ +20°C		20 ÷ 100°C		для R < 1 Мом	для R > 1 Мом	диаметр	длина	
для R < 1 Мом	для R > 1 Мом	для R < 1 Мом	для R > 1 Мом					
-0,20	—	-0,12	—	±10	—	2	6,5	0,2
-0,12	-0,20	-0,08	-0,12	±12	±20	5,4	18,5	1,3
-0,10	-0,20	-0,07	-0,12	±12	±20	5,4	28,5	1,6
-0,10	-0,20	-0,07	-0,12	±12	±20	7,2	32,5	3,2
-0,10	-0,20	-0,07	-0,12	±12	±20	9,5	53,0	8,5
-0,16	-0,16	-0,10	-0,10	±12	±20	18,5	77,0	30,0
-0,16	-0,16	-0,10	-0,10	±12	±20	28,5	123,0	100
-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	±6	±6	28,5	161	112
-0,05	—	-0,05	—	±6	—	54,0	171	430
-0,05	—	-0,05	—	±6	—	54,0	301	710
-0,05	—	-0,05	—	±6	—	64,0	431	910
±0,12	±0,12	±0,07	±0,10	-3 ÷ +6	-2 ÷ +9	4,2	10,8	1,0
±0,12	±0,12	±0,07	±0,10	-3 ÷ +6	-2 ÷ +9	6,6	13,0	2,0
±0,12	±0,12	±0,07	±0,10	-3 ÷ +6	-2 ÷ +9	8,6	18,5	3,5
±0,12	±0,12	±0,12	±0,12	—	—	1,6	10,0	0,15

сопротивлений УЛМ, ВС, МЛТ мощность должна снижаться из расчета 1,5%/

рт. ст. фактическая мощность не должна превышать 60% номинальной.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УГЛЕРОДИСТЫХ УЛЬТРАВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Тип и вид	Номинальная мощность, <i>вт</i>	Предельная температура окружающей среды, град. С		Номинальное значение активного сопротивления, <i>ом</i>	Допустимое отклонение от номинала, %	Максимальное импульсное испытательное напряжение, <i>в</i>	ТКС в интервале 20—100°С не более, % ¹	Наибольший размер корпуса, <i>мм</i>	
		без снижения мощности	со снижением мощности					диаметр	длина или толщина
УНУ-0,1	0,1	+402	+130	7,5—503 50—1003	+10 ±10	70 100	—0,04 —0,04	1,8 1,8	6 6
УНУ-0,15	0,15	+402	+130	7,5—503 50—1003	+10 ±10	75 100	—0,04 —0,04	3 3	9 9
УНУ-0,25	0,25	+402	+130	7,5—503 50—1003	—5 —5	100 250	—0,04 —0,04	4,3 4,3	14,5 14,5
УНУ-0,5	0,5	+402	+130	50; 55, 4; 62; 75	—5	450	—0,04	4,3	24,5
УНУ-1	1,0	+402	+130	50; 62; 75	—5	500	—0,04	6,2	28
УНУ-2	2,0	+402	+130	50; 75	—5	750	—0,04	8,2	46
УНУ-5	5,0	+402	+130	50; 75; 75 с отводом 8; 75 с отводом 14,3	—5	750	—0,04	15	75
УНУ-10	10	+402	+130	50; 75 с отводом 18	—5 —5	3200 4000	—0,04 —0,04	24 24	120 120

¹ ТКС для УНУ в интервале —10 ÷ +20°С не более —0,06%/°.

² При более высокой температуре мощность снижается из расчета 1%/ на 1°С.

³ Промежуточные значения сопротивлений могут быть любые.

Тип и вид	Номинальная мощность, <i>вт</i>	Предельная температура окружающей среды, град. С		Номинальное значение активного сопротивления, <i>ом</i>	Допустимое отклонение от номинала, %	Максимальное импульсное испытательное напряжение, <i>в</i>	ТКС в интервале 20—100°С не более, $\mu\text{о}^\circ/\text{о}^\circ\text{C}$	Наибольший размер корпуса, <i>мм</i>	
		без снижения мощности	со снижением мощности					диаметр	длина или толщина
УНУ-25	25	+40 ²	+130	50; 75 с отводами 12,5 и 37,5	—5 —5	5000 6500	—0,04 —0,04	28 28	180 180
УНУ-50	50	+40 ²	+130	50; 75 с отводами 1,25 и 3,9	—5 —5	7500 8700	—0,04 —0,04	43,5 43,5	250 250
УНУ-100	100	+40 ²	+130	75 с отводом 2,5	—5	12500	—0,04	65,4	354
УНУ-Ш 0,1	0,1	—	+70	4,5—20 ³	±5	25	—0,05	8	1,75
				20—50 ³	±5	60	—0,05	8	1,75
				50—100 ³	±5	80	—0,05	8	1,75
УНУ-Ш 0,15	0,15	—	+70	4,5—20 ³	±5	30	—0,05	11,8	2
				20—50 ³	±5	75	—0,05	11,8	2
				50—100 ³	±5	95	—0,05	11,8	2
УНУ-Ш 0,25	0,25	—	+70	4,5—15 ³	±5	40	—0,05	16	4
				15—45 ³	±5	80	—0,05	16	4
				45—75 ³	±5	120	—0,05	16	4

- 1 ТКС для УНУ и УНУ-Ш в интервале $-10 \div +20^\circ\text{C}$ не более $-0,06\text{о}^\circ/\text{о}^\circ\text{C}$.
 2 При более высокой температуре мощность снижается из расчета $1\text{о}^\circ/\text{о}^\circ\text{C}$.
 3 Промежуточные значения сопротивления могут быть любые.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРЕЦИЗИОННЫХ НЕПРОВОЛОЧНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Тип и вид	Номинальная мощность, <i>вт</i>	Предельное номинальное активное сопротивление ¹		Допустимое отклонение от номинала, %	Предельное рабочее и испытательное напряжения ² , <i>в</i>	Наибольший размер корпуса, <i>мм</i>		Вес не более, <i>г</i>
		от	до			диаметр	длина	
УЛИ-0,1	0,1	1 ом	10 ом	+13; +2; +3	1	5,4	16	1,5
УЛИ-0,25	0,25	1 ом	10 ом	+18; +2; +3	1,5	7,2	16	2,5
УЛИ-0,5	0,25	>10 ом	1 Мом	+1; +2; +3	350	5,4	27	2,5
	0,5	0,75 ом	10 ом	+13; +2; +3	2	9,5	18	3,5
УЛИ-1	0,5	>10 ом	1 Мом	+1; +2; +3	500	7,2	30	4,5
	1,0	1 ом	10 ом	+13; +2; +3	3	11,5	27	6,0
БЛП-0,1	1,0	>10 ом	1 Мом	+1; +2; +3	700	9,5	48	9,0
	0,1	1 ом	20 ом	+0,5; +1	150	6,1	16	1,5
БЛП-0,25	0,1	>20 ом	100 ком	+0,5; +1	150	5,9	18,5	1,5
	0,25	1 ом	20 ом	+0,5; +1	300	7,6	15,7	2,5
БЛП-0,5	0,25	>20 ом	100 ком	+0,5; +1	400	6,0	29	2,5
	0,5	1 ом	20 ом	+0,5; +1	400	9,6	17,5	3,5
БЛП-1	0,5	>20 ом	100 ком	+0,5; +1	400	8,0	32,5	4,5
	1,0	1 ом	20 ом	+0,5; +1	500	11,6	26,0	6,0
МЛП	0,5	>20 ом	100 ком	+0,5; +1	400	9,6	47,5	9,0
	0,5	100 ком	470 ком	+0,5; +1	400	8,4	18,5	3,0
		510 ком	5,1 Мом	+0,54; +1	400	16,0	50,0	10,5

¹ Соппротивления УЛИ и БЛП выпускаются с любым номинальным значением в указанных пределах, а сопротивления МЛП с промежуточными значениями, указанными в табл. 19.

² Но не более вычисленного по формуле, приведенной на стр. 107.

³ Но не точнее 0,01 ом.

⁴ Соппротивления с номинальным значением больше 1 Мом с допуском $\pm 0,5\%$ не изготавливаются.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НЕПРОВОЛОЧНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Тип	Вид кривой по рис. 59	Номинальная мощность, <i>вт</i>	Предельная температура окружающей среды, град. С		Номинальная величина активного сопротивления ²	Предельное рабочее напряжение постоянного и переменного токов при атмосферном давлении ³			Диаметр корпуса, мм
			без снижения мощности ¹	со снижением мощности		750 мм рт. ст.	40 мм рт. ст.	5 мм рт. ст.	
СП	А	1	+20	+70	470 ом — 4,7 Мом	400	400	100	29
	А	2	+20	+70	470 ом — 4,7 Мом	500	400	150	
	Б	0,5	+20	+70	22 ком — 2,2 Мом	400	400	100	
	Б	1	+20	+70	22 ком — 2,2 Мом	400	400	100	
	В	0,5	+20	+70	22 ком — 2,2 Мом	400	400	100	
	В	1	+20	+70	22 ком — 2,2 Мом	400	400	100	
ВК; ТК	А	0,5	+20	+60	2,5 ком — 7,5 Мом	350	—	—	33,5
	Б	0,2	+20	+60	15 ком — 2 Мом	200	—	—	
	Б	0,4	+20	+60	15 ком — 2 Мом	350	—	—	
	В	0,2	+20	+60	36 ком — 2 Мом	200	—	—	
	В	0,4	+20	+60	36 ком — 2 Мом	350	—	—	
	А	0,15	+80	+130	100 ом — 1 Мом	160	—	—	
	А	0,5	+80	+130	100 ом — 1 Мом	250	200	—	
	СПО-1	1	+80	+130	51 ом — 4,7 Мом	500	—	—	
	СПО-2	2	+80	+130	47 ом — 4,7 Мом	600	500 ⁴	200 ⁵	
	СПО-0,15								
	СПО-0,5								
	СПО-1								
	СПО-2								

¹ При длительной работе в условиях более высоких температур мощность должна снижаться: для сопротивлений СП из расчета 1,2% на 10С и для СПО-2—10% на 10С.

² Сопротивления СП и СПО выпускаются с допустимым отклонением от номинала не более $\pm 25\%$, выпускаются с допустимым отклонением от номинала не более $\pm 25\%$.

³ Но не выше вычисленного по формуле, приведенной на стр. 107.

⁴ Эффективное напряжение переменного тока не выше 400 в.

⁵ Эффективное напряжение переменного тока не выше 150 в.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОВОЛОЧНЫХ ЭМАЛИРОВАННЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Тип и вид*	Номинальная мощность, вт	Пределы номинального активного сопротивления**	Размеры трубки, мм			Вес не более, г
			внешний диаметр, не более	внутрен- ний диа- метр, не менее	длина, не более	
ПЭ-7,5	7,5	5 ом — 5 ком	12	3,5	41,5	12
ПЭ-15 (тип I)	15	5 ом — 5 ком	16	5,5	51,5	16
ПЭ-20 (тип II)	20	2,5 ом — 5 ком	20	9,5	51,5	30
ПЭ-25 (тип III)	25	5 ом — 5,6 ком	25	12,4	51,5	40
ПЭ-50 (тип IV)	50	1 ом — 15 ком	25	12,4	92,0	60
ПЭ-75 (тип V)	75	1 ом — 30 ком	25	12,4	164	110
ПЭ-150 (тип VI)	150	0,9 ом — 50 ком	32	17,0	219	300
ПЭВ-2,5	2,5	43 ом — 430 ом	14,5	3,5	27,5	14
ПЭВ-7,5	7,5	5 ом — 3,3 ком	16	5,0	37,5	23
ПЭВ-10	10	5 ом — 10 ком	16	5,0	42,5	27
ПЭВ-15	15	5 ом — 15 ком	19	7,5	46,5	36
ПЭВ-20	20	10 ом — 20 ком	19	7,5	53,0	44
ПЭВ-25	25	10 ом — 24 ком	23,5	11,4	53,0	57
ПЭВ-30	30	10 ом — 30 ком	23,5	11,4	73,2	80
ПЭВ-40	40	20 ом — 51 ком	23,5	11,4	89,2	98
ПЭВ-50	50	20 ом — 51 ком	32	18,9	93,4	132
ПЭВ-75	75	51 ом — 51 ком	32	18,9	143,2	253
ПЭВ-100	100	51 ом — 56 ком	32	18,9	173,5	286
ПЭВ-10X	10	5 ом — 200 ом	16	5,0	42,5	34
ПЭВ-15X	15	20 ом — 220 ом	19	7,5	46,5	42
ПЭВ-20X	20	20 ом — 430 ом	19	7,5	53,0	52
ПЭВ-25X	25	10 ом — 510 ом	23,5	11,4	53,0	67
ПЭВ-30X	30	20 ом — 1 ком	23,5	11,4	73,2	90
ПЭВ-50X	50	24 ом — 1,5 ком	32	18,9	93,4	144
ПЭВ-100X	100	51 ом — 2,7 ком	32	18,9	173,5	296

* В скобках указаны наименования сопротивлений ПЭ, под которыми они выпускались до 1952 года.

** Промежуточные номинальные значения для сопротивлений ПЭВ см. в табл. 20.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. А. Андрианов, Теплостойкие кремнийорганические диэлектрики, Госэнергоиздат, 1957.
2. М. Е. Аршанский, Керамические конденсаторы малой реактивной мощности, Госэнергоиздат, 1953.
3. Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, Б. М. Тареев, Электротехнические материалы, Госэнергоиздат, 1955.
4. Н. П. Богородицкий, И. Д. Фридберг, Высокочастотные неорганические диэлектрики, «Советское радио», 1948.
5. В. А. Волгов, Детали контуров радиоаппаратуры. Расчет и конструкция, Госэнергоиздат, 1954.
6. А. А. Воробьев и Е. К. Завадовская, Электрическая прочность твердых диэлектриков, Гос. изд. технико-теоретической литературы, 1956.
7. Б. М. Вул, Сегнетоэлектричество, Изд. Академии наук СССР, 1956.
8. Г. А. Жиров, Электрические конденсаторы, применяемые в радиотехнике, Госэнергоиздат, 1950.
9. Л. Н. Закгейм, Электролитические конденсаторы, Госэнергоиздат, 1954.
10. А. Ф. Иоффе, Физика полупроводников, Изд. Академии наук СССР, 1957.
11. Д. М. Казарновский, Радиотехнические материалы и детали. Изд. ЛКВВИА, 1950.
12. Д. М. Казарновский, Сегнетокерамические конденсаторы, Госэнергоиздат, 1956.
13. Д. М. Казарновский, Испытания радиотехнических материалов и деталей, Госэнергоиздат, 1953.
14. В. В. Карпихин, Техника измерения электрических параметров конденсаторов, Госэнергоиздат, 1955.
15. Конденсаторы и сопротивления, Каталог, Изд. Бюро технической информации Министерства промышленности средств связи, 1950.
16. Конденсаторы, сопротивления и разные изделия общего применения, Каталог, Изд. Бюро технической информации Министерства промышленности средств связи, 1952.
17. Конденсаторы помехозащитные, Каталог, Изд. Бюро технической информации Министерства промышленности средств связи, 1951.
18. Г. И. Рабчинская, Радиотехнические материалы, Госэнергоиздат, 1956.
19. В. Т. Ренне, Электрические конденсаторы, Госэнергоиздат, 1952.

20. Г. И. Ск а н а в и, Физика диэлектриков (Область слабых полей), Государственное технико-теоретическое издательство, 1948.

21. Г. И. Ск а н а в и, Радиокерамические материалы, Госэнергоиздат, 1948.

22. С. А. Я м а н о в, И. В. Б у к а н о в, Применение масел для пропитки бумажных конденсаторов. Под редакцией Б. М. Тареева, 1948.

23. С. А. Я м а н о в, С. А. С м и р н о в, Справочник по изоляционным материалам для радиопромышленности. Под редакцией Г. И. Ск а н а в и, Госэнергоиздат, 1947.

24. А. Д. Ф р о л о в, Основные принципы конструирования деталей радиоаппаратуры, Госэнергоиздат, 1955.

СТАТЬИ В ЖУРНАЛАХ И СБОРНИКАХ

25. А. А с т а ф ь е в, В. М а в р о д и а д и, Малогабаритные детали, журнал «Радио», 1956, № 7.

26. Н. П. Б о г о р о д и ц к и й, И. А. Ф р и д б е р г, Новые разработки в области керамических конденсаторов низкого напряжения, журнал «Электричество», 1955, № 6.

27. Н. П. Б о г о р о д и ц к и й, Современные электроизолирующие материалы в радиотехнике. «Сборник по обмену передовым опытом в области технологии и организации производства», Изд. Министерства радиотехнической промышленности, 1955, вып. 7.

28. Б. А. Б о ч к а р е в, Постоянные неперывочные сопротивления, «Электричество», 1956, № 8.

29. Е. А. Г а й л и ш, Новые малогабаритные радиодетали. «Сборник по обмену передовым опытом в области технологии и организации производства», Изд. Министерства радиотехнической промышленности, 1955, вып. 7.

30. Б. С. Г а л ь п е р и н, Малогабаритные неперывочные сопротивления. Сборник статей «Полупроводниковые приборы и их применение», вып. 1, «Советское радио», 1956.

31. Л. Н. З а к г е й м, Малогабаритные конденсаторы постоянной емкости для аппаратуры с полупроводниковыми приборами. Сборник статей «Полупроводниковые приборы и их применение», вып. 1; «Советское радио», 1956.

32. Д. М. К а з а р н о в с к и й, О неравновесной емкости сегнето-конденсатора во время его разряда, «Журнал технической физики», 1953, т. 23, вып. 10.

33. Д. М. К а з а р н о в с к и й, Сегнетокерамика в электротехнической аппаратуре, «Электричество», 1954, № 2.

34. Д. М. К а з а р н о в с к и й, И. Д. Ф о м е н к о, Сегнетоконденсаторы для подавления помех радиоприему, «Радиотехника», т. 9, 1954, № 5.

35. В. Х. К о з л о в с к и й, О доменной структуре сегнетоэлектриков, «Журнал технической физики», 1953, т. 23, вып. 2.

36. В. М и х а й л о в, И. Э р л и х, Новые радиотехнические материалы, «Радио», 1957, № 10.

37. Р. М и х а й л о в, Керамические конденсаторы постоянной емкости. «Радио», 1952, № 12.

38. Р. М и х а й л о в, Металлобумажные конденсаторы, «Радио», 1956, № 10.

39. В. Т. Р е н н е, Факторы, влияющие на срок службы бумажных конденсаторов, «Электричество», 1952, № 7.

40. В. Т. Ренне, Развитие отечественного конденсаторостроения, «Электричество», 1955, № 7.

41. Р. Михайлов, Выбор конденсаторов для радиоприемника, «Радио», 1957, № 1.

42. Р. Михайлов, Выбор постоянных сопротивлений для радиоприемника, «Радио», 1957, № 3.

43. Р. Михайлов, Переменные непроволочные сопротивления в радиоприемниках, «Радио», 1957.



СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Введение	3
Конденсаторы постоянной емкости	7
1. Основные параметры конденсаторов	—
2. Физические процессы в диэлектриках	19
3. Керамические конденсаторы	33
4. Стеклоэмалевые и стеклокерамические конденсаторы	52
5. Слюдяные конденсаторы	53
6. Бумажные конденсаторы	61
7. Металлобумажные конденсаторы	76
8. Пленочные конденсаторы	86
9. Электролитические конденсаторы	94
Сопротивления	106
1. Основные параметры непроволочных постоянных сопротивлений	—
2. Типы непроволочных постоянных сопротивлений	115
3. Непроволочные переменные сопротивления	124
4. Проволочные эмалированные сопротивления	130
Т а б л и ц ы:	
1. Классы точности конденсаторов постоянной емкости	134
2. Наиболее распространенные номинальные емкости конденсаторов в пикофарадах	135
3. Шкала номинальной емкости конденсаторов в микрофарадах	136
4. Основные данные некоторых конденсаторных керамических диэлектриков	137
5. Основные параметры керамических и стеклоэмалевых конденсаторов	138
6. Основные параметры сегнетокерамических конденсаторов	142
7. Температурные коэффициенты емкости слюдяных конденсаторов	143
8. Основные параметры слюдяных конденсаторов	144
9. Основные параметры бумажных низковольтных конденсаторов	146
10. Наибольшие допустимые амплитуды переменной составляющей напряжения U_m в процентах от номинальных рабочих напряжений U_n постоянного тока бумажных и металлобумажных конденсаторов	150
11. Наибольшие допустимые напряжения переменного и импуль-	

сного токов для конденсаторов КБГ-И, КБГ-М, КБГ-МП и КБГ-МН	150
12. Основные параметры бумажных высоковольтных конденсаторов	151
13. Основные параметры металлобумажных конденсаторов	152
14. Электрические и механические характеристики пленочных диэлектриков	156
15. Основные параметры пленочных конденсаторов	158
16. Основные параметры металлопленочных конденсаторов	160
17. Основные характеристики электролитических конденсаторов	161
18. Наибольшие допустимые амплитуды переменной составляющей напряжения U_m частоты 50 гц в процентах от номинальных рабочих напряжений U_n постоянного тока электролитических конденсаторов с алюминиевыми анодами КЭ, ЭГЦ и КЭГ	162
19. Наибольшие допустимые амплитуды переменной составляющей напряжения U_m в процентах от номинальных рабочих напряжений U_n постоянного тока танталовых электролитических конденсаторов ЭТ, ЭТН и ЭТО	—
20. Шкала номинальных величин непроволочных сопротивлений	163
21. Основные параметры непроволочных постоянных сопротивлений широкого применения	164
22. Основные параметры углеродистых ультравысокочастотных сопротивлений	166
23. Основные параметры прецизионных непроволочных сопротивлений	168
24. Основные параметры непроволочных переменных сопротивлений	169
25. Основные параметры проволочных эмалированных сопротивлений	170
Литература	171

Малинин Роман Михайлович

КОНДЕНСАТОРЫ И СОПРОТИВЛЕНИЯ

Редактор инженер-подполковник *Беляев Е. П.*

Технический редактор *Мясникова Т. Ф.*

Корректор *Олейникова А. Ф.*

Сдано в набор 18.11. 58 г.

Подписано к печати 18.5.59 г.

Формат бумаги $84 \times 108^{1/2} = 5^{1/2}$ печ. л. — 9,02 усл. печ. л. 9,46 уч.-изд. л.

Г-50389.

Военное издательство Министерства обороны Союза ССР

Москва, К-9, Тверской бульвар, 18.

Изд. 5/9607.

Зак. 1533.

1-я типография

Военного издательства Министерства обороны Союза ССР

Москва, К-6, проезд Скворцова-Степанова, дом 3

Цена 4 р. 30 к.

4 р. 30 к.

Д
9956

Энэ талар
чиг. зана